

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DOTTORATO IN INGEGNERIA DEI SISTEMI MECCANICI – XXI CICLO

TESI DI DOTTORATO

SVILUPPO DI UN MODELLO DI SUPPORTO A DECISIONE PER LA GESTIONE
DELL'OBSOLESCENZA PER RICAMBI CON ALTI *LEAD TIMES* DI PRODUZIONE E APPARTENENTI
A SISTEMI CON LUNGHI CICLI DI VITA

TUTOR:

CH.MA PROF. ING. MARIA ELENA NENNI

DOTTORANDO:

DR. ING. MARCELLO FERA

ANNO ACCADEMICO 2008-2009

*Alla mia famiglia, ai miei amici ed
ai miei mentori: Marcello Lando, Maria Elena Nenni,
Roberto Macchiaroli,
Alfredo Lambiase e Stefano Riemma*

*La teoria è quando si sa tutto e niente funziona. La pratica è quando tutto funziona e
nessuno sa il perché.*

*Noi abbiamo messo insieme la teoria e la pratica: non c'è niente che funzioni... e
nessuno sa il perché!*

A. Einstein

Indice

Introduzione.....	5
Capitolo 1 – Introduzione: gli Integrated Logistic Support (ILS) ed il problema dell’obsolescenza	6
1.1 La logistica dei ricambi.....	6
1.2 Gli Integrated Logistic Support.....	8
1.3 Le variabili dell’ILS	13
1.4 L’obsolescenza e la sua gestione.....	16
1.4.1 Strategie e tattiche per la risoluzione del problema	22
1.4.2 Stato dell’arte sulla gestione delle obsolescenze.....	32
1.4.3 Open issues per la gestione delle obsolescenze	41
Capitolo 2 – Analisi del problema della gestione delle obsolescenze	42
2.1 Introduzione	42
2.2 Cost Breakdown Structure	42
2.3 Variabili tecniche di gestione.....	47
2.3.1 Previsione dell’istante di obsolescenza.....	47
2.3.2 Numerosità dei sistemi.....	48
2.3.3 Scorta media e valore del ricambio.....	49
2.3.4 Stock-out pre e post obsolescenza	50
2.3.5 Reverse Engineering	52
2.3.6 Tasso di domanda e parametri manutentivi	53
2.4 Relazioni tra variabili.....	55
Capitolo 3 – Il modello di supporto a decisione	56
3.1 La funzione econometrica	56
3.2 Analisi di sensitività relativa alle componenti di costo della gestione dell’obsolescenza	64
3.3 Modello di previsione di domanda.....	73
3.4 Decision Support System per la gestione delle obsolescenze.....	77
Capitolo 4 – Validazione ed utilizzo del DSS.....	95
4.1 Costruzione dell’esperimento.....	95
4.2 I risultati dell’esperimento	99
Conclusioni.....	103
Bibliografia.....	105

Introduzione

La logistica dei ricambi, oggi giorno, per la continua espansione dei contratti *global service* relativo alla manutenzione degli impianti, sta assumendo sempre maggiore rilevanza nello studio della logistica ed della gestione dei materiali.

Nell'ambito della logistica industriale e del *global service*, in particolare, è presente un'ulteriore urgenza di studio e ricerca, relativa ai problemi connessi alla gestione logistica di pezzi di ricambio con problemi di obsolescenza tecnologica. Tale esigenza è estremamente sentita dai produttori di sistemi di difesa militare e civile, come i costruttori di sistemi *radar*, o più in generale di sistemi di rilevazione, controllo e difesa.

L'obsolescenza tecnologica è un fenomeno che insorge nel momento in cui un sistema presenta un ciclo di vita più lungo di quello dei componenti, in esso contenuti, e ciò fa sì che il pezzo di ricambio diventi, in un dato istante della vita del sistema, non più reperibile sul mercato.

Attraverso un'analisi delle strutture di costo di gestione dell'obsolescenza ed attraverso la strutturazione di un modello di previsione di domanda è intenzione di tale lavoro proporre un modello di supporto a decisione, che aiuti i *manager* del *global service* a definire, in modo adeguato, le politiche di gestione dell'obsolescenza ed i dimensionamenti di scorta dei prodotti con alti *lead time* di produzione, che appartengono a sistemi complessi con lunghi cicli di vita e che presentino problemi di obsolescenza.

Capitolo 1 – Introduzione: gli Integrated Logistic Support (ILS) ed il problema dell'obsolescenza

1.1 La logistica dei ricambi

La manutenzione negli ultimi anni ha assunto, sempre più, un ruolo decisivo all'interno delle aziende industriali, infatti, quest'attività è stata ormai riconosciuta come elemento fondamentale per la preservazione oltre che dell'aspetto patrimoniale anche della principale fonte di vita per l'azienda privata e pubblica, vale a dire il cliente. Il cliente, infatti, soprattutto per sistemi di medio-alta complessità, anche se oggi ci si sta spostando anche verso un basso livello di complessità, richiede che, viste le alte competenze necessarie per la manutenzione, l'attività di mantenimento sia svolta dal produttore del sistema. In tal modo i clienti riescono a de-verticalizzare le proprie piramidi gestionali portando la propria struttura ad una maggiore snellezza.

In tale contesto, quello che già era un problema sentito dai clienti, e cioè la logistica dei ricambi, soprattutto nel caso si abbia una dislocazione territoriale ampia degli impianti, assume una rilevanza notevole per i produttori, che si trovano a gestire numerosità elevate di ricambi dovendo preoccuparsi di più sistemi uguali, o comunque simili, su distribuzioni territoriali che, alle volte, sono addirittura di livello internazionale.

La logistica, come sottolineato da alcuni autori [1], ha una rilevanza imponente, infatti, la stima del valore delle attività logistiche in Europa ha toccato quasi 500 miliardi di euro e l'Italia, rappresenta il quarto paese per

volume di affari logistici sviluppati, che si attestano su un valore di 60 miliardi di euro¹.

Per cui, si può facilmente intuire quale sia l'importanza della gestione di queste attività, che assumono particolare rilevanza nei bilanci aziendali. Per illustrare quanto pesano tali costi sul bilancio aziendale, si riportano in tabella 1 le incidenze dei costi logistici sul prezzo di un prodotto, per diversi settori produttivi.

<i>Settori</i>	<i>Costi logistici</i>	<i>Costi di trasporto</i>
Alimentare	31%	10%
Chimica	21%	8%
Tessile/abbigliamento	23%	8%
Edilizia	25%	7%
Carta/gomma	19%	5%
Agricoltura	13%	3%
Farmaceutico	16%	3%
Elettronico	12%	2%
<i>Media settori</i>	20%	5,5%

Tabella 1: Incidenza dei costi logistici e di trasporto sul prezzo² [2]

Come si rileva dalla tabella 1 per settori come l'alimentare o l'edilizia, l'incidenza dei costi logistici arriva sino ad un terzo del valore di mercato del bene distribuito, perciò l'intervento ed il controllo su tale variabile, anche se non si raggiungano tali rilevanze di percentuale, è variabile fondamentale nella gestione della moderna azienda industriale.

In questo ambito di cotanta rilevanza, hanno trovato posto dei nuovi produttori di servizi, che si occupano nell'ambito del *global service* manutentivo di un impianto, anche della logistica dei ricambi, sulla quale le aziende produttrici di sistemi complessi, contano di sviluppare economie, che in ottica competitiva rappresentano sempre il miglior modo per controllare i prezzi al pubblico, e, quindi, per aumentare i propri margini.

¹ Fonte: Banca Intesa – Studi di settore, *La quantificazione dei costi logistici europei*, a cura di Marco Mutti, Febbraio 2003

² Fonte: www.logisticaeconomica.unina.it

La logistica dei ricambi, se ben gestita, diviene, quindi, uno strumento fondamentale di vantaggio competitivo interno.

Si può, con buona approssimazione, affermare che le percentuali introdotte dalla tabella 1, possano essere ribaltate anche sulla logistica dei ricambi, che quindi assume rilevanza soprattutto nella determinazione del prezzo di un contratto di *global service*, cioè un contratto che comprenda tutte le attività, direttamente o meno, collegate alle attività di manutenzione, o per meglio dire, che comprenda tutte le attività necessarie al mantenimento dello stato di disponibilità dell'impianto, intendendo con disponibilità, il parametro caratteristico offerto dal rapporto tra i tempi di funzionamento e i tempi totali di funzionamento necessari al cliente. Il *global service*, come definito dalla norma UNI 10685, è un “contratto riferito ad una pluralità di servizi sostitutivi delle normali attività di manutenzione con piena responsabilità sui risultati da parte dell'assuntore”; con pluralità di servizi in alcuni casi, come quello militare, si intende un totale passaggio delle consegne al *Original Equipment Manufacturer* (OEM). Si fa riferimento al caso militare poiché grande attenzione oggi è posta alla manutenzione dei sistemi di difesa e conseguentemente alla parte di logistica dei ricambi, ed il maggiore sforzo nell'ambito della ricerca in questo campo è prodotto dagli OEM di tale settore. Ovviamente, la piena assunzione di responsabilità da parte del produttore di rendere disponibile il sistema con continuità, ha rilevanza anche in settori meno sensibili rispetto al militare, dove tante particolarità di gestione potrebbero essere colte.

1.2 Gli Integrated Logistic Support

Il Supporto Logistico Integrato (ILS) nasce inizialmente nel settore militare per poi estendersi, gradualmente, anche ad altri settori. Tale forma di

servizio offre ai clienti la garanzia di avere la massima efficienza e disponibilità operativa degli impianti durante l'intero loro ciclo di vita.

I concetti della logistica industriale, commerciale e dei sistemi si fondono nell'approccio ILS, che parte dalla progettazione di un sistema e continua per tutta la sua vita operativa.

In altre parole ILS è quel servizio che unifica la gestione delle attività logistiche e di manutenzione per il supporto di un sistema, qualunque sia la sua complessità, e che persegue la minimizzazione del *life cycle cost*.

I principali obiettivi di un approccio ILS sono:

- agire sulla progettazione per migliorare la *supportabilità* del sistema,
- identificare i fabbisogni in termini di risorse per l'espletamento delle attività di supporto,
- acquisire le risorse appropriate, di cui sopra,
- provvedere a tutte le attività di supporto minimizzando i costi su tutto il ciclo di vita.

Le principali fasi in cui può essere suddiviso un ciclo di vita di un sistema complesso, e quindi dell'ILS ad esso associato, possono essere così riassunte:

- *Design & Production (D&P)*: le attività di *Design* sono inerenti alla pianificazione iniziale, all'analisi di mercato, agli studi di prodotto, alla progettazione, alla documentazione prodotta e infine alla costruzione di modelli e alla loro valutazione; sono, in breve, tutte quelle attività che è necessario svolgere per passare alla fase di

realizzazione del sistema. Le attività di *Production* sono, invece, relative alla produzione e all'assemblaggio dei componenti del sistema e alla verifica del loro funzionamento;

- *Operation and Support* (O&S): sono le attività necessarie per l'utilizzo del sistema realizzato e per il suo mantenimento ai livelli di prestazione nominali;
- *Retirement and Disposal* (Re&Di): sono le attività necessarie, in base alle norme vigenti, al termine del ciclo di vita del sistema per la sua dismissione o per lo smaltimento di un suo componente nel momento in cui diventi obsoleto o in cui venga sostituita per motivi di qualsiasi altro genere.

Le tre fasi così descritte contribuiscono in diversa maniera al costo totale di un ILS. Come è possibile desumere dalla fig. 1.

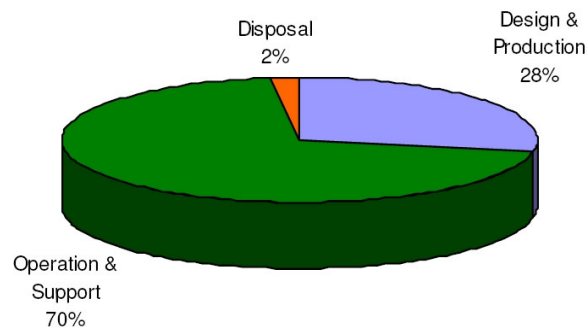


Fig. 1: Distribuzione dei costi delle attività nelle tre principali fasi di vita³

³ fonte: "Air Force Journal of logistics", 2001

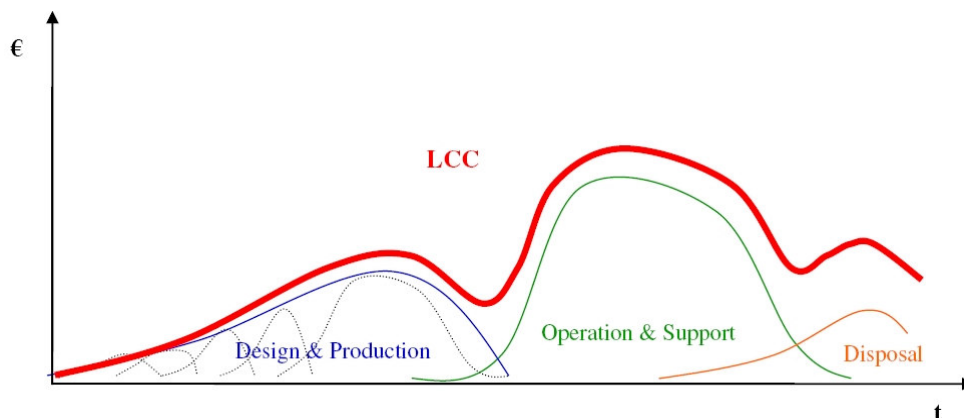


Fig. 2: Andamento dei costi nel tempo⁴

Pur variando ragionevolmente in base al sistema in esame, tuttavia i costi a contributo prevalente sul totale (il 70%, secondo l'*Air Force Journal of Logistics*) sono quelli inerenti alla fase di *Operation & Support* (vedi figure 1 e 2); come è d'altra parte è lecito aspettarsi per la varietà di attività che detta fase chiama in causa (si va dalla pianificazione della manutenzione, all'allestimento della documentazione tecnica, ed inoltre dal supporto nelle attività di approvvigionamento, alla gestione del problema dell'obsolescenza e alla pianificazione del training per gli operatori) e anche per la lunghezza temporale della stessa (anche 30-35 anni).

Il sistema integrato offerto al cliente è, dunque, costituito da due elementi intimamente correlati: il sottosistema primario e il sottosistema di supporto logistico come illustrato nella figura successiva.

⁴ fonte: "Air Force Journal of logistics", 2001

Sistema

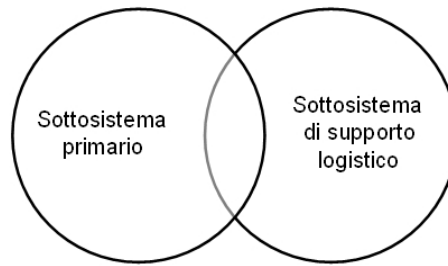


Fig.3: Parti del sistema

Per sottosistema primario si intende un assieme di elementi strutturati che realizzano una data funzione, mentre il sottosistema di supporto logistico è tutto quanto necessario affinché il sistema primario, durante la sua vita sia mantenuto in condizioni di corretto funzionamento.

Esempi di sistema primario sono:

- un *radar*,
- una nave,
- un aereo.

Il supporto logistico, invece, include:

- pdr (parti di ricambio/rispetto) e gestione delle obsolescenze,
- manuali tecnici,
- mezzi di trasporto e movimentazione,
- personale opportunamente addestrato,
- infrastrutture di manutenzione.

Al sottosistema primario è richiesto l'obiettivo di fornire la prestazione (*system performance*) che assicura il soddisfacimento della missione che ha generato la necessità di progettare il sistema. Ciò vuol dire che il sistema, attraverso gli elementi del sottosistema primario, deve funzionare con efficacia nei termini e nei limiti di funzionamento prescritti nelle specifiche tecniche di sistema. Al sottosistema primario, congiuntamente con il sottosistema di supporto logistico, è richiesto l'obiettivo di fornire la prestazione con continuità nel tempo.

Gli obiettivi suddetti non hanno validità logica se sono considerati separatamente: per questo motivo, viene introdotto un obiettivo comune, che racchiude i due precedenti, chiamato efficienza del sistema (*system effectiveness*), definita come disponibilità (*availability*) delle prestazioni del sistema nell'arco del suo ciclo di vita.

1.3 Le variabili dell'ILS

La fase di vita del sistema che più ci interessa, per gli scopi che ci proponiamo, è quella di *Operation and Support* (O&S), infatti per tale fase si rilevano i maggiori contributi di costo, come messo in evidenza dalle precedenti figure 2 e 3, nelle quali si rilevava una contribuzione di tale costo in misura del 70% del costo totale di ILS.

Per tale fase una società specializzata del settore ha condotto uno studio di approfondimento su un sistema complesso come può essere un sistema di rilevazione e difesa; i risultati di tale studio sono proposti in figura 4. In questo studio sono state analizzate le sottovariabili di costo della fase di O&S. All'interno di tale fase del ciclo di vita si ritrovano le seguenti fasi:

- *management*;
- *engineering support*;
- *field services*;
- *material management*;
- *maintanance and upgrading*;
- *obsolescence solution*;
- *training*;
- sistema informativo logistico.

Il *management* è la fase connessa alla strutturazione del servizio di gestione di tutta la fase di O&S. L'*engineering support* è la fase connessa al supporto ingegneristico che deve essere fornito per strutturare tutti i servizi tipici dell'O&S. I *field services* comprendono tutti i servizi di campo, cioè tutte le strutture fisiche ed organizzative necessarie a gestire *on site* la disponibilità del sistema. Il *material management* è la gestione dei materiali necessari alla gestione del sistema ed in particolare al suo mantenimento in stato di disponibilità, per sistemi militari tale variabile è legata a doppio filo alla variabile di *obsolescence*. Poi abbiamo la sottovariabile di *maintenance & upgrading* che rappresenta la fase connessa alla manutenzione dei sistemi ed al loro miglioramento. L'*obsolescence solution* guarda la gestione delle obsolescenze dei pezzi di ricambio costituenti le scorte di ricambi per il mantenimento in disponibilità del sistema. Dopo di che abbiamo le voci connesse al *training* e cioè all'addestramento degli operatori del cliente per la corretta gestione delle prestazioni del sistema e

l'*infologicistic system*, cioè il sistema informativo per la gestione logistica di tutto ciò coinvolga il sistema.

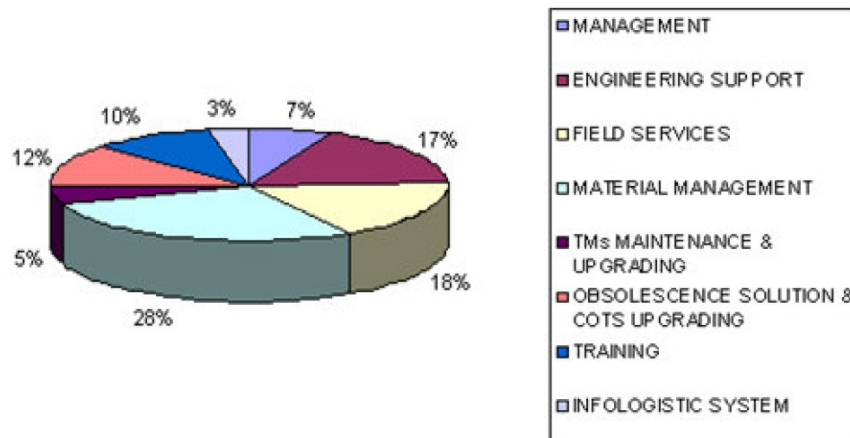


Fig. 4: principali voci di costo inerenti alle attività di ILS

Dalla figura 4 si evince che la voce di costo più consistente tra le sottovariabili dell'O&S (quasi il 30% del totale) è rappresentata dalle attività inerenti al *material management*, ovvero costi di mantenimento a scorta delle parti di ricambio e costi per le manutenzioni a guasto. Tuttavia, con il 12% sul totale, si pone in forte evidenza la voce relativa alle attività di *obsolescence solution & cost up grading*. Tali attività sono concettualmente attinenti a quelle della classe del *material management*, ma nel corso degli ultimi anni hanno assunto una tale importanza da meritare un *focus* specifico.

Tutti gli elementi di costo riportati nella precedente figura sono le variabili fondamentali per gestire e soprattutto controllare in maniera efficace la fase di *operation & support*, tale fase assorbe all'incirca il 70% del prezzo finale di un sistema complesso di difesa. Per cui tale fase del ciclo di vita di un ILS merita una particolare attenzione, perché tutte le voci che lo compongono sono tutte voci sulle quali, generalmente un buon approccio di

gestione permette di ottenere dei *savings* significativi ai fini della creazione di un vantaggio competitivo interno.

La corretta determinazione di tali parametri, già in fase di *preventivazione*, risulta, quindi, essere di notevole interesse ai fini della corretta determinazione dei margini e delle conseguenti possibilità di contrattazione strategica nei confronti del cliente.

Nell'ambito di tutti i fattori di costo sin qui visti, l'attenzione in questo lavoro, sarà posta sugli aspetti legati alla gestione e quindi all'ottimizzazione dei costi di obsolescenza cercando quindi di ottimizzare anche la variabile indiretta a questa correlata, cioè quella di *material management*, andando quindi a dimensionare le scorte alla luce del problema di obsolescenza.

L'obsolescenza in questi ultimi anni, ha assunto, sempre più rilevanza a causa del fatto che, soprattutto per prodotti come quelli elettronici, la vita commerciale del componente è divenuta molto più breve di quella del sistema. In questo lavoro, infatti, si tratterà della cosiddetta obsolescenza tecnologica di prodotti high-tech, che sono componenti, alle volte critici, di sistemi con ciclo di vita estremamente lungo (ndr: 35 anni), e che incorporano valori unitari di considerevole entità.

1.4 L'obsolescenza e la sua gestione

L'obsolescenza dei componenti, da quanto emerge da pratiche constatazioni sta diventando uno dei maggiori *cost driver* nel supporto di apparecchiature e sistemi elettronici complessi prodotti in numero limitato. Tali sistemi, proprio a causa della loro complessità e dei tempi elevati di acquisizione, presentano un ciclo di vita più lungo dei componenti in essi

contenuti. Inoltre, proprio per tali motivi, il problema dell'obsolescenza, è visto come uno dei più grandi generatori di rischio, a causa del suo possibile impatto tecnologico sulla disponibilità e *manutenibilità* di un sistema e sulle possibili conseguenze anche di natura finanziaria ad essa collegata.

La natura, le cause e la gestione dell'obsolescenza dei componenti non è stata né considerata, né capita in pieno, finché non si è capito che fenomeni di questo tipo avvenivano troppo spesso e costavano troppo per essere ignorati o essere risolti unicamente con metodi reattivi.

Il problema dell'obsolescenza può investire qualsiasi attrezzatura o prodotto, soprattutto se molto complesso, in tutte le fasi del suo ciclo di vita; non è un problema che riguarda un solo tipo di ricambio, ma può riguardare *hardware*, *software*, utensili, attrezzature di supporto o di *test*. Per questo motivo, la gestione delle obsolescenze (*obsolescence management* – OM) non dovrebbe assolutamente essere ignorata né durante la fase di progettazione e sviluppo di un sistema (*Acquisition Phase*), né durante la fase di utilizzazione (*Utilization Phase*).

Si può facilmente intuire che i problemi generati dall'obsolescenza, hanno un impatto più severo su quei sistemi che presentino un ciclo di vita molto lungo, ed inoltre ancor di più se questi ultimi incorporano componenti con cicli di vita notevolmente più brevi. E' appunto questo il caso, ad esempio, dei *radar*.

Nella letteratura sviluppata in ambienti militari americani l'obsolescenza viene comunemente indicata con l'acronimo DMSMS (*Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortage*).

In altre parole, un problema di obsolescenza si presenta quando un *item* o non è più disponibile perché non più prodotto dall'ultimo fornitore noto o dal *Original Equipment Manufacturer* (OEM), oppure quando il pezzo a magazzino è superato tecnologicamente e non è più utilizzabile sulle apparecchiature future, che dovranno essere progettate con componenti tecnologicamente al passo con i tempi.

Per capire il problema dell'obsolescenza dei componenti e interpretarne le conseguenze, è necessario analizzare il mutamento dei problemi relativi ai *trend* di mercato degli ultimi trenta/quaranta anni.

Esistono settori di mercato in cui il problema dell'obsolescenza è divenuto più evidente come ad esempio l'industria elettronica. Per capire questa realtà basta pensare che, negli Stati Uniti, tale settore si è sviluppato, dal 1990 al 2000, con un tasso di crescita tre volte maggiore di quello di altri mercati. Questa crescita così rapida, ha portato drammatiche conseguenze nel mondo dei dispositivi elettronici: cambiamenti come il voltaggio di alimentazione, la riduzione dell'ingombro o l'aumento nella velocità di esecuzione, sono ormai eventi che si verificano con cadenza quasi mensile. Tale tendenza ha causato una drastica riduzione del ciclo di vita dei componenti di questa classe merceologica, poiché, per rimanere competitivi in un mercato così dinamico e caratterizzato da una crescita talmente rapida, i produttori si sono visti costretti a mutare continuamente il proprio output, seguendo i dettami delle nuove tecnologie emergenti; estrema conseguenza di questo fenomeno, è che le parti elettroniche, che compongono un sistema complesso destinato ad una vita operativa lunga, hanno un ciclo di vita notevolmente più corto del prodotto che compongono. Un esempio qualitativo di quanto detto è illustrato nella figura successiva (fig. 5), in cui come è possibile vedere, il ciclo di vita del

componente, quello alla sinistra della curva maggiore, presenta una durata più breve e, naturalmente, con un impatto di costo inferiore.

Alla fine del ciclo di vita del componente, si potrebbe presentare il problema di gestire il ricambio per rendere il sistema disponibile o per rendere il pezzo disponibile per sistemi che saranno prodotti in futuro. Ci potrebbero essere, quindi, problemi collegati al semplice approvvigionamento, perché quel prodotto non è più disponibile sul mercato o che si deve ottimizzare la quantità a magazzino, perché non lo si vuole detenere in date quantità, perché tale detenzione peserebbe troppo sulle prestazioni economico/finanziarie aziendali.

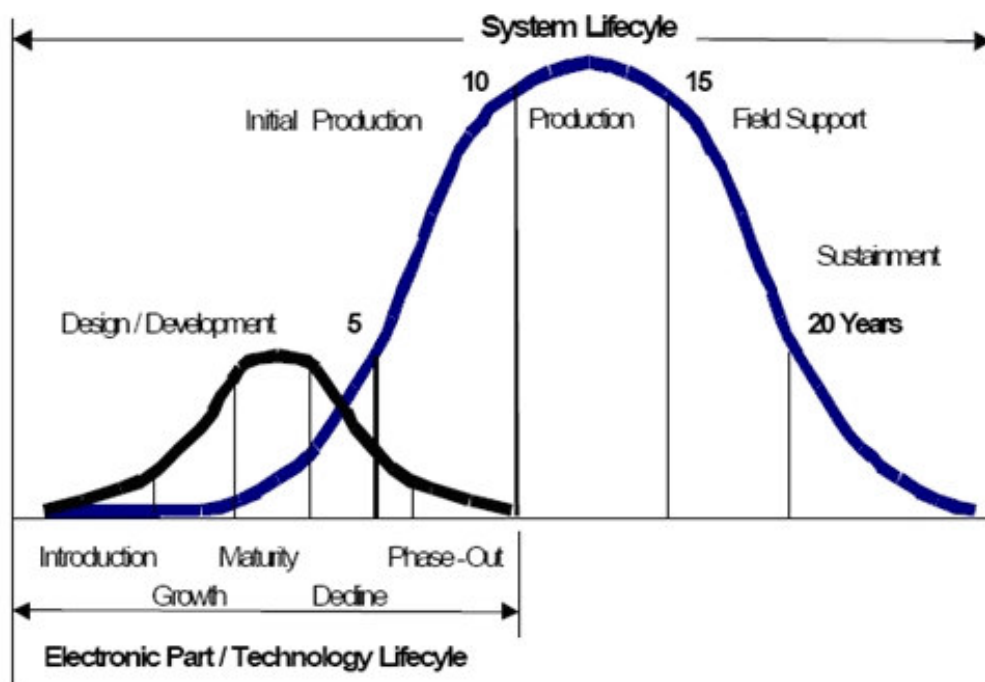


Fig. 5: Disuguaglianza fra la lunghezza del ciclo di vita di un sistema complesso e quello dei componenti che lo costituiscono.

Quindi l'obsolescenza tecnologica, come si evince dalla figura, è un fenomeno che insorge nel momento in cui un sistema presenta un ciclo di vita più lungo di quello dei componenti, in esso contenuti, e ciò fa sì che il

pezzo di ricambio diventi, ad un certo punto della vita del sistema, non più reperibile sul mercato. Il problema ha dunque ovvie ripercussioni sia sulla disponibilità del sistema, sia sui costi legati al mantenimento a scorta dei pezzi di ricambio soggetti ad obsolescenza.

La gestione dell'obsolescenza ha come scopo principale quello di garantire un supporto al sistema di tipo *cost-effective* durante il suo intero ciclo di vita: il fine, infatti, è quello di definire un *trade-off* fra le varie esigenze e di fornire un processo di gestione efficace. Si dovrebbero definire, dunque, quelle azioni da mettere in atto al fine di prevenire o risolvere gli effetti dovuti all'insorgere di un DMSMS.

In maniera riassuntiva, possiamo dire che, tipicamente, i principali problemi da tenere in considerazione in un *Obsolescence Management Plan* (OMP) sono:

- considerare tutti i materiali in uso, senza badare al fatto che possano essere componenti sviluppati per uno specifico progetto all'interno dell'azienda (*make*) o COTS;
- perseguire il minor *life cycle cost* per il sistema supportato, tenendo in debita considerazione le sue performance, la sua disponibilità e la sua *manutenibilità*;
- essere compatibile con le azioni di supporto già implementate e gli eventuali vincoli della situazione;
- essere robusto e flessibile in un ambiente caratterizzato da continui cambiamenti.

Per cui, la gestione delle obsolescenze dovrebbe essere considerata come un elemento della più ampia gestione dei rischi di un progetto. Basandosi sull'esperienza e sull'analisi, inoltre, il *Project Manager* dovrebbe tenere in considerazione anche i seguenti aspetti della questione:

- quale sarebbe l'impatto sulle prestazioni del sistema a causa di una mancanza di parti di ricambio ormai obsolete;
- quale sarebbe il probabile costo di una prematura sostituzione di parti ormai obsolete o quello di altre azioni per aggirare il problema;
- quale effettivamente è la probabilità che l'obsolescenza si manifesti.

Di fronte a tutti questi interrogativi è possibile rendersi conto di quale possa essere la complessità decisionale, oltre che gestionale legata all'obsolescenza.

La gestione dell'obsolescenza può avvenire attraverso il ricorso a due strategie: la cosiddetta pro-attiva e quella reattiva. Molto spesso, a causa di una scarsa strutturazione di previsione la soluzione adottata è quella reattiva, che però è accompagnata, generalmente, da un costo molto elevato. Molti, oggi, spingono invece per l'implementazione di una soluzione di tipo pro-attivo, che quindi, agendo sulla previsione, riesca ad affrontare il problema secondo tempi e costi controllati e soprattutto già noti. Alle tecniche di tipo pro-attivo daremo ampio spazio in seguito, quando parleremo delle strategie industriali e delle tattiche applicabili per la risoluzione del problema.

1.4.1 Strategie e tattiche per la risoluzione del problema

Prima di introdurre le strategie e le tattiche ad esse associate, si fa breve cenno alla classificazione del tipo di obsolescenza.

Per analizzare gli aspetti del problema in maniera sintetica, si fa spesso ricorso ad un ausilio grafico che mette in relazione la probabilità che un'obsolescenza insorga, il costo ad essa associato e l'impatto che questa avrebbe sulla disponibilità del sistema. In figura 6 è, appunto, mostrato il sistema con cui si cerca di schematizzare i tre aspetti da considerare.

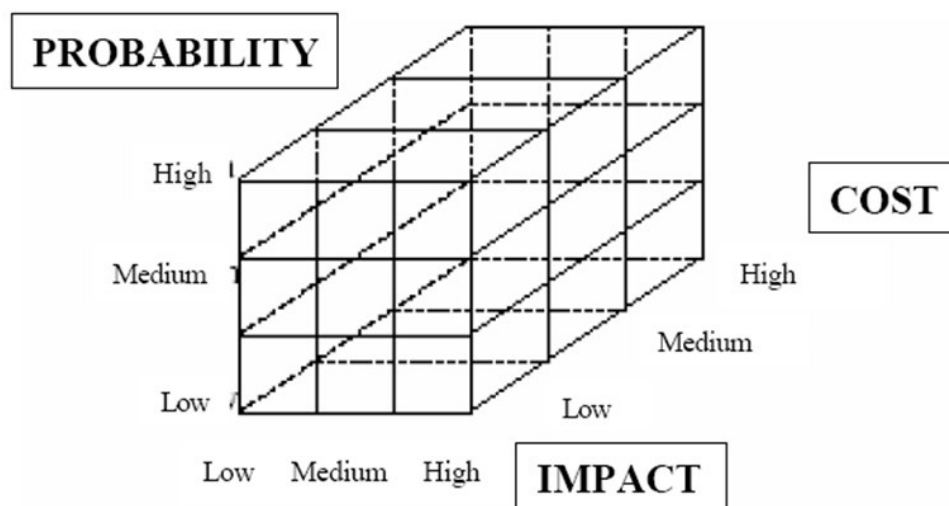


Fig. 6: Schema per la classificazione del problema delle obsolescenze

Come si vede, ad ogni faccia del cubo corrisponde un elemento di rischio da considerare:

- l'impatto dell'obsolescenza sul sistema;
- il costo della possibile risoluzione;

- la probabilità con cui si verificherà l'obsolescenza.

Per ognuno di questi fattori si considerano tre livelli di occorrenza:

- basso (*Low*);
- medio (*Medium*);
- alto (*High*).

Quindi, in base al risultato di questa analisi sui tre principali fattori di rischio, il *Project Manager* decide la strategia da perseguire.

Si possono definire, in maniera del tutto generale, due differenti filosofie gestionali per fronteggiare il problema obsolescenze:

- approccio reattivo: prevede il reagire al problema dell'obsolescenza quando e se si manifesta;
- approccio pro-attivo: prevede lo sviluppo e l'implementazione di un programma di gestione delle obsolescenze basato sulla previsione della data di obsolescenza.

Decidendo di perseguire l'approccio reattivo al problema dell'obsolescenza, dunque, si stabilisce di non fare nulla fino al momento in cui questa effettivamente si verifichi. Solitamente, questa strategia è perseguita quando l'analisi dei fattori di rischio, ovvero la stima contestuale di impatto sul sistema, probabilità di occorrenza e costo per la risoluzione, dà come risultato la tripletta (*low, low, low*): infatti, dal punto di vista *budgetario*, essa non implica costi aggiuntivi, ma, nel momento in cui si va a risolvere il problema, quella che normalmente è una strategia molto onerosa, grazie al fatto che il fattore di rischio costo è basso, non è più tale.

Inoltre, la sicurezza di un livello basso anche per gli altri due fattori dell'analisi di rischio, rende la scelta di un approccio reattivo al problema meno azzardata.

Nei casi in cui l'impatto dell'obsolescenza sul sistema, la probabilità di occorrenza e il costo per la risoluzione non risultino poco rilevanti, si preferisce utilizzare un approccio pro-attivo all'obsolescenza; si sceglie, quindi, di sviluppare ed implementare un programma di gestione delle obsolescenze che sia perseguito per l'intero ciclo di vita del sistema e che definisca le azioni da mettere in pratica.

Un aspetto importante di questo *modus operandi* è il monitoraggio delle obsolescenze; con tale espressione si intende la continua osservazione dei componenti e dei materiali che vengono coinvolti nel processo produttivo o di supporto al sistema; inoltre, nel momento in cui una parte risulta obsoleta o, nel più auspicabile dei casi, si prevede che lo diventerà a breve, ci si impegna per ricercarne l'alternativa.

Siccome la pratica sopra descritta è comunque fonte di costi, si cerca di limitare tale attività ai casi in cui essa è estremamente utile, cioè, soprattutto nelle seguenti situazioni:

- per quei sistemi in cui il costo della risoluzione delle obsolescenze è elevato;
- per quei componenti per i quali è noto un solo fornitore;
- per quei componenti che rivestono un ruolo critico per la sicurezza del sistema.

A tale proposito, è utile dire che esistono numerosi *tools* commerciali e banche dati che collezionano e mettono a disposizione, ovviamente a pagamento, questo tipo di informazioni.

A titolo esemplificativo di seguito sono illustrate una serie di tattiche appartenenti alle due diverse strategie sinora discusse. È necessario sottolineare che la loro implementazione non prevede assolutamente una mutua esclusione: in alcuni casi, infatti, può risultare più efficace mettere in atto un action plan che preveda un *mix* di alcune di esse.

- Reattive:
 - sostituzione di parti (*Replacement parts*): questa alternativa, tipicamente reattiva, richiede l'analisi delle caratteristiche dell'item obsoleto e la ricerca di un dispositivo simile in FFF (*Form, Fit, Function*) che non degradi le performance del sistema a causa delle differenze. Può capitare che si trovi un componente perfettamente uguale, oppure uno che ha bisogno di qualche adattamento.
 - emulazione: è il processo tramite il quale si cerca di riprodurre un componente ormai obsoleto, mantenendone le qualità in termini *Form, Fit, Function*, ma utilizzando la tecnologia disponibile allo stato dell'arte. Anche in questo caso si parla di un'azione correttiva di stampo reattivo.
 - cannibalizzazione (*Reclamation*): utilizzo di altri sistemi analoghi, e non più economicamente riparabili, a quello

da supportare come fonte di parti di ricambio per sopperire alla necessità dei componenti obsoleti.

- Proattive:

- riprogettazione: spesso, anziché effettuare un *life time buy* o la sostituzione di parti non FFF, che necessitano comunque uno sforzo adattativo, si preferisce riprogettare una parte, più o meno estesa del sistema, senza però alterare le sue funzionalità.
- fonti alternative (*aftermarket manufacturer/suppliers*): le *aftermarket manufacturer* sono aziende che hanno rilevato le linee di produzione e i relativi diritti dagli *original equipment manufacturer* (OEM) al fine di mantenere in vita la produzione di un componente altrimenti obsoleto. Gli *aftermarket suppliers* sono invece aziende che scelgono di acquistare e tenere a magazzino componenti obsoleti e rivenderli ad un prezzo maggiorato a chi ne manifesta il bisogno.
- *Life of Type* (LOT) *Buy*, anche detto *Life time Buy* o *Last Buy*: prevede l'acquisto di una quantità sufficiente dell'item obsoleto per soddisfare il piano produttivo e il supporto dei sistemi già in fase operativa fino alla fine del loro ciclo di vita. Prevedere la domanda futura del dispositivo in questione non è sempre una cosa semplice: solitamente si basa su una stima della domanda e sui dati riguardanti l'affidabilità e la mortalità del componente. Un altro aspetto problematico

dell'azione di *last buy* è il lungo tempo di immagazzinaggio, sia dal punto di vista dell'immobilizzazione di capitali, sia per la *shelf life* degli *item*. In ogni caso, il ricorso a tale azione consente di evitare i problemi di IPR (*Intellectual Property Rights*) specialmente per componenti complessi, moduli o sottoassiemi. In ultima analisi, un *last buy* è consigliato nei seguenti casi:

- quando è nota, grazie ad una notifica del produttore, o si riesce a prevedere la data di obsolescenza;
- quando la fine del ciclo di vita del sistema da supportare non è troppo lontana nel tempo.

Il *lifetime buy* è un'azione annoverata fra quelle proattive.

Fra le azioni di *last buy*, si può includere anche quella di *Bridge Buy* con la quale si realizza un acquisto di una quantità sufficiente di item per supportare sistema e piano produttivo fino ad un'azione di *redesign*.

- inserzione tecnologica: azione con la quale si cerca di fronteggiare il rapido sviluppo della tecnologia per porre rimedio all'inevitabile insorgere dell'obsolescenza. L'elemento fondamentale è l'introduzione di una nuova tecnologia in un progetto preesistente, in modo da migliorare,

contemporaneamente alla risoluzione problema di DMSMS, le funzionalità del sistema. Se implementata in maniera efficace, l'inserzione tecnologica è la principale azione proattiva per contrastare l'obsolescenza. Spesso, oltre ad azioni di questo tipo per porre rimedio all'imminenza di DMSMS, azioni di *upgrades* vengono sistematicamente programmate nel corso del ciclo di vita del sistema: è il caso per esempio di un *mid-life-upgrade*.

- *Reverse Engineering*: processo per mezzo del quale si realizza un'replica dell'*item* originale, attraverso lo studio della composizione effettiva di quest'ultimo e l'utilizzo di dati tecnici.

In figura 7 si illustra, come sia possibile classificare tutte le tattiche sin qui viste nell'ambito delle due strategie. Abbiamo classificato tra gli approcci reattivi, ossia quelli che prevedono di reagire al problema delle obsolescenze nel momento in cui si manifesta, la cannibalizzazione, l'emulazione, la riprogettazione e il *replacement parts*; mentre tra gli approcci pro-attivi, ossia quelli che prevedono lo sviluppo di un programma di gestione delle obsolescenze basato sulla previsione della data di obsolescenza, il *Last Buy* e l'inserzione tecnologica. A metà strada tra i due tipi di approccio troviamo infine il *Reverse Engineering* e le fonti alternative (*alternative sources*). Anche se è da segnalare che l'approccio di *reverse engineering* richiede comunque un'adeguata pianificazione di tempi e delle risorse.

Nella tabella successiva, verranno mostrate le caratteristiche di costo ed efficacia delle tattiche fin qui descritte.

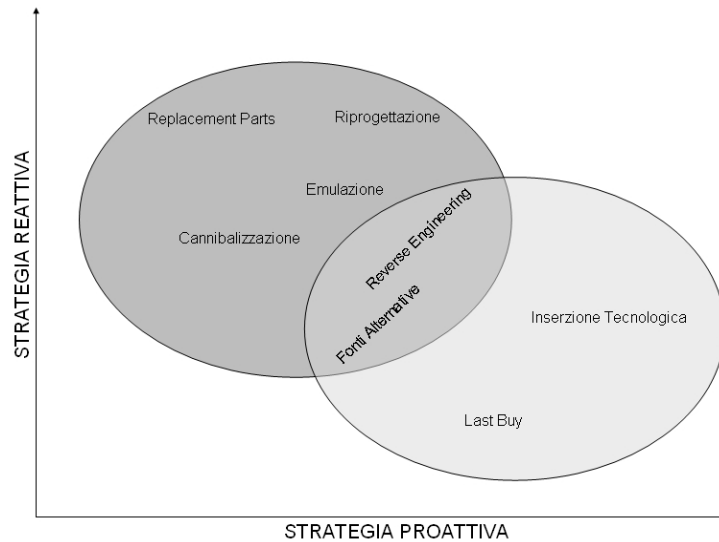


Fig. 7: approcci al problema dell'obsolescenza

L'esperienza industriale ha mostrato che le azioni correttive maggiormente utilizzate per rispondere ad un problema di DMSMS sono:

- La sostituzione di parti con altre simili non perfettamente FFF (*Replacement parts*);
- *Life of type buy*;
- *Bridge buy/Redesign*;
- Emulazione.

Nella seguente illustrazione, viene riportata la suddivisione in percentuale del ricorso a tali soluzioni.

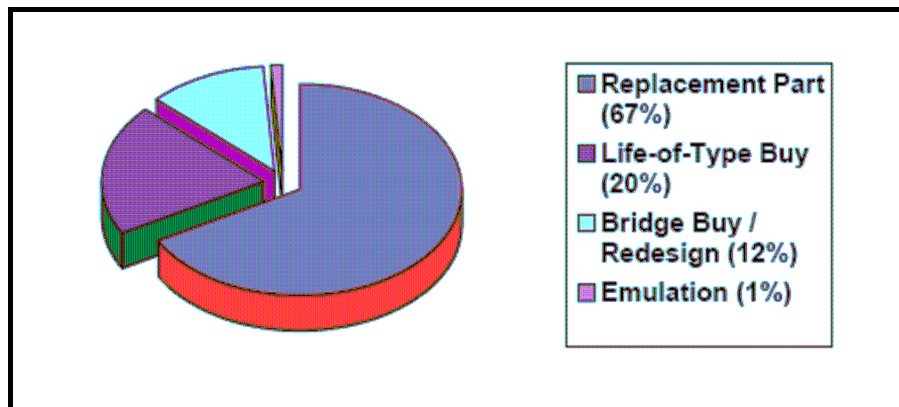


Fig. 8: Percentuale con cui si ricorre alle più frequenti soluzioni per il DMSMS

Come si vede dalla figura 8, si ricorre alla riprogettazione solo in pochi casi, a causa degli elevati costi ad essa collegati. Le soluzioni maggiormente adottate sono la sostituzione di parti e il *Life of Type Buy*.

Quindi, ad oggi, nelle aziende operanti in tale settore l'approccio alla risoluzione del problema è fondamentalmente di tipo reattivo, il che genera ovviamente un aggravio di costo non direttamente quantificabile, ma che comunque è presente, siccome si deve sempre rincorrere la soluzione ai diversi problemi che si presentano.

Per offrire un miglior supporto di analisi in tabella 2 sono riportate le caratteristiche dei diversi approcci, dal punto di vista dei costi e della durata dell'azione risolutiva.

<i>Azione risolutiva</i>	<i>Impatto di costi non ricorrenti</i>	<i>Impatto di costi ricorrenti</i>	<i>Durata dell'effetto</i>
Fonti alternative	Potenzialmente alto.	Potrebbe essere necessaria una riqualificazione.	Temporaneo se il mercato alternativo ha le stesse caratteristiche del principale.
Sostituzione Parti	Basso, ma potrebbe richiedere riqualificazione.	Basso.	Temporaneo se il mercato alternativo ha le stesse caratteristiche del principale.
Emulazione	Alto essendo necessaria sia un redesign che una riqualificazione.	Minimo.	Dipende dalla relazione obsolescenza/non disponibilità. Se la non disponibilità è causata dall'obsolescenza tecnologica è una soluzione a lungo termine.
Life of Type Buy	Moderato.	Minimo. Potrebbe essere ancora più basso facendo economie di scala.	Lungo termine se i calcoli sulla disponibilità sono corretti.
Riprogettazione	Alto.	Alto.	Può essere a lungo termine se i componenti che si è deciso di utilizzare hanno non sono alla fine del loro ciclo di vita.
Inserzione tecnologica	Varia secondo i casi. Potrebbe richiedere riqualificazione e retesting.	Varia secondo i casi. Potrebbe richiedere riqualificazione e retesting	Lungo termine.
Reverse Engineering	Alto. Potrebbe essere richiesta una riqualificazione.	Basso.	Dipende dalla relazione obsolescenza/non disponibilità. Se la non disponibilità dipende dalla dimensione del mercato è un'azione a breve termine.
Cannibalizzazione	Basso.	Basso.	Breve durata.

Tab. 2 : Caratteristiche delle varie azioni per fronteggiare l'obsolescenza.

1.4.2 Stato dell'arte sulla gestione delle obsolescenze

Come già notato in precedenza il problema della gestione dell'obsolescenza è più sentito da quando i componenti elettronici hanno iniziato ad avere cicli di vita commerciale e, quindi, di disponibilità sul mercato molto brevi. Tale aspetto per il particolare settore produttivo di interesse viene esaltato da altri aspetti collegati, come, ad esempio, il fatto che i prodotti militari, ed in particolare quelli di controllo militare (come *radar*, sistemi di difesa automatica, etc.) vanno sempre più verso una maggiore complessità di configurazione e verso una maggiore integrazione con altri sistemi di difesa dislocati territorialmente anche in altre posizioni, aumentando quindi il carico tecnologico sia dal punto di vista software sia *hardware*. [3]

A causa dei nuovi requisiti di prodotto, anche lo stesso settore militare, ha riconosciuto che la logistica dei ricambi e di conseguenza anche la gestione delle obsolescenze sia gestita da una parte terza, cioè l'OEM. Come molti autori sottolineano, la parte militare, ormai riassume le sue esigenze circa i sistemi di difesa attraverso l'utilizzo di un unico indicatore di performance del sistema, cioè il livello di servizio (probabilità associata alla disponibilità del sistema), che per molti *integrators* si attesta su un valore che comunque va oltre il 90% [4]. Quindi, a causa della complessità tecnologica, e quindi gestionale nel governare le funzioni di cui sopra, rispetto a tali sistemi tanto complessi, si è preferito spostare il problema sin qui visto alla parte produttrice. Tale parte, avendo la necessità di sviluppare economie intorno al business e soprattutto di progettare e controllarlo durante tutto il suo ciclo di vita, ha più volte sottolineato la necessità di avere un modello di supporto a decisione che riesca a determinare un valore di costo o di prezzo circa gli aspetti legati alla logistica dei ricambi

di tali sistemi, ed in ambito più specifico alla gestione delle obsolescenze [5].

Per capire a fondo, l'impatto del problema dell'obsolescenza, e quindi la vastità dello stesso, basti pensare che ormai l'obsolescenza e la sua gestione non coinvolgono solo aspetti legati alle tecnologie e/o i software, ma addirittura anche i materiali di costruzione dei componenti elettronici. Come alcuni autori sottolineano, le legislazioni internazionali circa i materiali e la loro sicurezza, infatti, impongono di non utilizzare materiali, quali cromo esavalente, piombo, e così via, che sono stati ampiamente utilizzati nel passato, quindi la gestione a scorta di tali prodotti acquistati per far fronte ai problemi di manutenzione, seguendo una strategia *Last Type Buy*, rispetto all'obsolescenza, diviene un problema estremamente importante, dovendo gestire in questo caso non tanto il problema tecnologico e quindi funzionale, che nel caso sarebbe preservato, ma bensì un aspetto legato esclusivamente ai materiali [6].

Inoltre la necessità, e quindi l'opportunità, di integrare tutte le voci di costo, a vario titolo coinvolte nell'obsolescenza, è sottolineata oltre che da illustri autori, anche da organi governativi ufficiali quali ad esempio il dipartimento della difesa americano e dalle linee guida della NATO per la gestione e risoluzione delle obsolescenze [7, 8].

Il problema della gestione dell'obsolescenza, quindi, è un problema molto sentito, e lo è ancor di più per i cosiddetti COTS (*Commercial Off-The-Shelf*), prodotti molto rari e soprattutto *one-shot*, per i quali quindi la tattica di *Last Type Buy* non risulta applicabile, nella maggior parte dei casi, e quindi i rischi connessi all'obsolescenza, soprattutto dal punto di vista finanziario, divengono davvero imponenti [9]. A causa, quindi, dell'elevata

complessità del problema di obsolescenza [10] e dell'alto livello di rischio, le aziende del settore si affidano a *tool software* di tipo commerciale come MOCA, OMIS, e così via, che presentano una discreta performance dal punto di vista di costo e di previsione dello stesso, come alcuni autori sottolineano [11, 12], anche se comunque i margini di miglioramento della previsione sono ancora sensibili.

Tutto ciò per quanto riguarda la letteratura circa l'obsolescenza e la sua gestione nell'ambito dell'elettronica militare, si passerà ora ad illustrare i contributi scientifici alla materia provenienti anche da altri settori produttivi, non necessariamente collegati con l'ambito militare.

Gli aspetti relativi all'obsolescenza sono discussi da molto tempo nell'ambito della ricerca della pianificazione degli approvvigionamenti e della gestione della manutenzione e dei magazzini.

Smith [13] nel 1957 propose una valutazione, alla luce anche del problema dell'obsolescenza, delle strategie di approvvigionamento. In particolare era analizzato il caso di motori per trazione di macchine di movimentazione. La stima del costo di obsolescenza era realizzata attraverso una funzione di interpolazione lineare, come illustrata in (1).

$$Y = A + \alpha L \quad (1)$$

Dove A è l'intercetta del primo valore della funzione di risparmio, che si otterrebbe dalla sostituzione di un item obsoleto con uno nuovo, α è il tasso di crescita dell'obsolescenza, che nel caso specifico è determinato in funzione dei risparmi di tempo ottenibili dall'utilizzo di item non obsoleti nella movimentazione e L è il periodo di servizio della tecnologia cui appartiene l'*item*.

Sempre nel 1957 Chambers, Bond e Leak [14] presentarono un lavoro in cui erano analizzati i diversi addendi facenti parte del costo totale di approvvigionamento, tra i quali fecero rientrare anche gli aspetti legati all'obsolescenza. Il lavoro è interessante ai nostri fini, perché si iniziava già a riconoscere come l'obsolescenza potesse presentarsi all'interno delle diverse fasi temporali e tecniche del lancio di un prodotto sul mercato. Infatti, l'obsolescenza secondo questo approccio si può presentare sia in fase di progettazione, nel qual caso richiede una ri-progettazione, od in fase di ingegnerizzazione, e allora genererà delle revisioni dei piani di ingegnerizzazione, od in fase di realizzazione, e quindi richiederà delle rilavorazioni. Particolarmente interessante risulta inoltre la proposta di un modello per il calcolo del costo di obsolescenza quando questa si presenti in una o più delle fasi su richiamate, la formula riportata è la (2).

$$C_{eo} = \sum_{\forall T} \int_{t_2}^{t_\zeta} P_{EO}(t) \cdot D(t) \cdot H(t) \cdot f_T(t) \cdot n_E(t, T) dt \quad (2)$$

Dove $P_{EO}(t)$ è il tasso atteso dell'insorgere di obsolescenze, $D(t)$ è il numero atteso dei cambiamenti di progettazione, $H(t)$ è il costo di ri-processamento di una delle fasi precedenti per un pezzo che abbia subito un'obsolescenza all'istante t , $f_T(t)$ è la frazione attesa di cambi di progettazione che abbia un effettivo tempo di attesa pari a T ed $n_E(t, T)$ è il numero effettivo di pezzi rilavorati a causa dei cambiamenti mostratisi all'istante t dopo un intervallo di tempo effettivo pari a T .

Una volta che fu aperto il dibattito sull'obsolescenza molti studi iniziarono ad esser condotti in merito. Tra questi è sicuramente da ricordare quello condotto da Ohmer et al. [15], che nel 1958 pubblicarono un lavoro che metteva in relazione gli aspetti del deterioramento con quelli

dell'obsolescenza. In particolare gli autori inseriscono la determinazione del costo di obsolescenza all'interno del problema più generale dell'individuazione del costo di sostituzione. Gli autori determinano il grado di obsolescenza confrontando il costo di una macchina nuova con quello di una macchina vecchia di un anno. Il rilievo del lavoro è, però, principalmente concentrato sulla dimostrazione che all'aumentare del grado di deterioramento decresce l'indice di obsolescenza.

Nel 1964 Brown, Lu e Wolfson [16] pubblicarono un'interessante lavoro, in cui si trovava un modello di valutazione dell'obsolescenza, i cui input provengono sostanzialmente dal mercato, in quanto si stabilisce che, là dove, vi sia una domanda nulla di un certo item la probabilità di obsolescenza è pari ad 1, cioè vi è come causa principale della mancata domanda il problema dell'obsolescenza. L'articolo determina, quindi, un modello per la previsione dell'insorgere dell'obsolescenza, attraverso modelli noti, quali ad esempio quello esponenziale negativo.

Molto tempo passò prima che il problema fosse riaffrontato, infatti le prime tracce significative nella letteratura internazionale si ritrovano solo nel 1999, ben trentacinque anni dopo l'ultima pubblicazione significativa sull'argomento. In particolare il problema è riportato alla ribalta da Zaichencko [17], il quale pubblicò un articolo in cui si denunciava quale peso avesse l'insorgere delle obsolescenze sulle attrezzature di produzione; specificamente l'autore sottolineava come il più basso tasso di ricambio delle attrezzature di produzione dell'URSS, ponessero, quest'ultima, in posizione di svantaggio competitivo nei confronti degli USA, che invece riuscivano meglio a seguire, e quindi reagire, all'insorgere di obsolescenze.

Un altro contributo significativo alla questione fu dato da Laronge [18, 19], che in due articoli apparsi rispettivamente nel 1999 e nel 2000 ritornava sul problema dell'obsolescenza ed in particolare sulla questione dell'obsolescenza funzionale. L'autore si concentra nella dimostrazione di come alcuni metodi di calcolo del costo di obsolescenza non rispettino i principi di equivalenza stabiliti dalle equazioni del costo di sostituzione e del costo di riproduzione. In particolare si confrontano i costi di rimessa in servizio (o tramite ricostruzione dell'item o tramite sostituzione) con i costi di acquisto di un nuovo item e quindi i relativi costi per la messa in servizio di quest'ultimo, che comunque ha la stessa funzionalità ed utilità del precedente.

Altro contributo alla materia fu dato da Teunter e Fortuin [20] nel 1999, che svilupparono un modello di gestione dei ricambi per aziende che operino in regime di global service. Il modello determina la scorta ottima di pezzi da avere a disposizione per soddisfare un dato livello di servizio. Il modello prende in considerazione variabili quali: il costo di approvvigionamento, il costo di penalità da sopportare in caso non si abbia il pezzo a disposizione, l'holding cost, il costo di rimozione dell'item quando il contratto di global service sia estinto, ed il costo eventuale di rilavorazione quando sia necessario produrre quel determinato item. Tutti i costi del modello sono scontati con un tasso posto pari ad α , che può variare, secondo i casi, secondo la strategicità dell'item. Per cui nessuno specifico riferimento è fatto all'aspetto legato all'obsolescenza, la quale può solo essere indicata come variabile occulta dell'holding cost.

Nel 2002 Nelson [21] analizzò il problema dell'obsolescenza e delle decisioni ad essa collegate proponendo un modello di supporto a decisione basato su alcune variabili quali: (i) o, il valore delle spese operative

periodiche da dover sostenere per una vecchia macchina, (ii) m , il valore delle spese di manutenzione periodica da dover sostenere per una vecchia macchina, (iii) q , la diminuzione nel valore aggiunto della vecchia macchina risultante dal suo uso per un ulteriore periodo di produzione, (iv) O , il valore delle spese operative periodiche da dover sostenere per una macchina nuova, (v) M , il valore delle spese di manutenzione periodica da dover sostenere per una macchina nuova ed (vi) I , il cumulo dell'interesse periodico sulla nuova macchina dopo n anni, (vii) D , il cumulo del deprezzamento della nuova macchina dopo n anni. Il criterio di decisione per la sostituzione o meno della macchina è quello riportato in (3) e (4).

$$(o + m + q) > (O + M + I + D) \Rightarrow \text{cambio} \quad (3)$$

$$(o + m + q) < (O + M + I + D) \Rightarrow \text{vecchia_macchina_per_un_altro_periodo} \quad (4)$$

Sempre nel 2002 Bhurusith, Touran e Asce [22] presentano uno studio sulla valutazione dell'obsolescenza per le attrezzature da lavoro. Il loro studio si concentra in modo particolare sugli aspetti collegati alle attrezzature da cantiere della Caterpillar. Gli autori fanno proprio il modello teorico di Schexnayder e Hender, in base al quale l'obsolescenza consta di due aliquote, una di origine inflativa e l'altra di origine tecnologica. Gli autori per valutare il livello di obsolescenza valutano la variazione della produzione oraria dei diversi modelli di escavatori e la variazione del costo unitario di trasporto per iarda cubica di terra; la rilevazione avviene su un arco temporale di quindici anni. Una volta calcolate tali variazioni, queste sono scremate dagli effetti inflativi e gli indici così ottenuti sono confrontati col *Building Cost Index*. Se le variazioni di costo sono superiori alle variazioni di costo totale del settore,

allora si deve procedere alla sostituzione dell'attrezzatura per obsolescenza, altrimenti ciò non è necessario.

Sempre nel 2002 Arcelus, Pakkala e Srinivesin [23] concentrano i loro studi sull'improvvisa insorgenza di un'obsolescenza, ponendosi nell'ottica di un *retailer*. Nel modello è, infatti, definita una funzione di profitto, distinta in due aliquote, una nel caso in cui non si presenti l'obsolescenza ed un'altra nel caso si presenti, (5).

$$\begin{aligned} \psi(P_i, t_i) = & (1 - p_i) \cdot [(P_i - C) \cdot q_i - C \cdot F \cdot S_i(t_i) - K] + \\ & + \int_0^{t_i} [P_i \cdot s_i(y) + d \cdot I_i(y) - C \cdot q_i - K - C \cdot F \cdot S_i(y)] \cdot f_i(y) dy \end{aligned} \quad (5)$$

Dove p_i è la probabilità dell'improvvisa insorgenza di un'obsolescenza, P_i è il prezzo di vendita dell' i -simo item, C è il costo di approvvigionamento per *item*, q_i è la quantità approvvigionata, F è l'*holding cost* per dollaro per anno, S_i è l'inventario cumulato nel tempo sino all'insorgere dell'obsolescenza, K è il costo di ordinazione, s_i è la parte della quantità ordinata q_i venduta al prezzo P_i , d è il valore minimo di vendita per un'unità obsoleta, I_i è la quantità di pezzi obsoleti all'istante in cui si verifica l'obsolescenza, $f_i(y)$ è la funzione densità di probabilità dell'insorgere dell'obsolescenza e y è una variabile della quantità di scorta dell' i -simo *item* dopo l'insorgere dell'obsolescenza. Il modello proposto si basa sull'ipotesi di domanda decrescente, secondo un modello esponenziale, in funzione del prezzo e del tempo.

L'attenzione sull'argomento crebbe sino al 2005 quando Persona et al. [24] pubblicarono un lavoro incentrato su un modello di gestione basato sul *consignment stock* in presenza di obsolescenza. Tale tipo di gestione prevede una *partnership* tra *vendor* e *buyer*, che quindi si traduce in un mutuo vantaggio. In particolare nel lavoro sono sviluppati due modelli di

costo di obsolescenza sia dal punto di vista del *vendor* (6) che da quello del *buyer* (7).

$$C_o^V = \left(\frac{q \cdot c_p}{T}\right) \cdot (n - n^*) \quad (6)$$

Dove q è la quantità trasportata per singola consegna, c_p è il costo di produzione del singolo item, T è il periodo di vita dell'*item*, n è il numero di trasporti per ogni singolo intervallo di produzione e n^* è il numero di trasporti non effettuati dal venditore durante l'ultimo intervallo di produzione a causa dell'insorgere di un obsolescenza.

$$C_o^B = \frac{p}{T} \cdot \left[\frac{q \cdot D}{P} + q \cdot n^* - D \cdot t^*\right] \quad (7)$$

Dove p è il prezzo per *item* venduto, T è il periodo di vita dell'*item*, q è la quantità trasportata per ogni singola consegna, D è il tasso della domanda, P è il tasso di produzione continua, n^* è il numero di trasporti non effettuati nell'ultimo periodo di produzione e t^* è il tempo tra l'ultimo periodo di produzione e l'istante in cui si manifesta l'obsolescenza.

Come è evidente, quindi il problema dell'obsolescenza è stato lungamente dibattuto ed analizzato; ne sia testimonianza anche l'ultimo studio del 2007 di Ho, Solis e Chang [25] in cui si analizzano cinque euristiche per il problema del *material requirement planning* alla luce del problema del deterioramento chimico-fisico della scorta, ma, vista la complessità dell'argomento, era esclusa dalla trattazione la variabile associata all'obsolescenza. Quindi tale contributo deve essere solo inteso a confermare la complessità del problema.

1.4.3 Open issues per la gestione delle obsolescenze

Come risulta evidente dalla trattazione del precedente paragrafo la materia della gestione delle obsolescenze, soprattutto, per gli aspetti legati ai prodotti elettronici del settore militare, risulta essere molto sentita, sia dal punto di vista della definizione del prezzo, sia della corretta gestione del rischio, sia della gestione delle scorte collegate ai pezzi soggetti ad obsolescenza.

E' possibile quindi riconoscere la necessità di un modello di supporto a decisione, che sia in grado di affrontare il problema sia dal punto di vista scientifico, riuscendo quindi a superare i problemi connessi alla vastità del problema, ed uno scientifico-pratico, in quanto tale modello nella migliore delle ipotesi dovrebbe essere in grado di fornire una stima più affidabile del costo di previsione della gestione delle obsolescenze.

Capitolo 2 – Analisi del problema della gestione delle obsolescenze

2.1 Introduzione

All'interno del problema generale sin qui esposto trovano spazio diverse variabili decisionali, sia di natura tecnica che economica, che contribuiscono in diverso modo e con diversi pesi alla definizione della strategia o della tattica da utilizzare. Al fine di poter definire in maniera efficace il problema, in questo capitolo, saranno analizzate tutte quelle che potrebbero essere le sottovariabili decisionali che contribuiscono alla definizione del problema.

2.2 Cost Breakdown Structure

Per poter efficacemente affrontare il problema sinora introdotto, può risultare utile analizzare quella che può essere definita come la struttura di costo del problema di gestione dell'obsolescenza.

Tra le possibili variabili in questo lavoro, anche grazie all'aiuto degli esperti, sono state individuate le voci di costo di seguito riportate, all'interno di un approccio pro-attivo alla risoluzione del problema di gestione dell'obsolescenza. Infatti, come dichiarato nelle *open issues*, al termine del capitolo precedente, saranno analizzati gli aspetti connessi alla determinazione di una strategia proattiva alla risoluzione del problema di obsolescenza. Per cui la struttura di costo è determinata rispetto a questa strategia, ma nulla vieta di poter estendere tale tecnica alle tattiche della strategia reattiva. Tale estensione avrebbe rilevanza soprattutto in termini di possibilità di controllo del problema.

La gestione dell'obsolescenza deve tenere in conto parametri di costo che sono legati da un lato alla natura del ricambio e dall'altro alla particolarità del sistema cui questo appartiene. Infatti, per il primo si riconoscono dei fattori di costo legati fondamentalmente ad aspetti di gestione che prevedono anche interventi che abbiano un elevato impatto di costo, tale approccio è figlio del fatto che il valore unitario associato a tali pezzi di ricambio è, molto spesso, elevato (ndr: il valore di una singola scheda elettronica può arrivare sino a 20.000 euro). Per il secondo aspetto, invece si fa riferimento al costo di indisponibilità che il cliente riversa sul manutentore, sotto forma di costo di penalty, tale costo riflette il valore che il manutentore deve corrispondere al cliente nel momento in cui il sistema vada fuori servizio per un numero di ore superiore a quanto stabilito attraverso la definizione del livello di servizio all'interno del contratto di global service sottoscritto. E' da sottolineare che il costo di penalty confrontato con i costi di indisponibilità, che un cliente potrebbe dover sopportare sono praticamente incommensurabili, basti immaginare quali siano le conseguenze di un down del sistema che non sia stato previsto, e a quali possibili catastrofiche conseguenze ci si potrebbe trovare esposti.

La prima voce di costo è quella di risoluzione del problema manutentivo che coinvolga, ovviamente, un pezzo che sia soggetto ad obsolescenza. Per poter valutare questa voce di costo si propone, in ottica di strategia pro-attiva, di far riferimento alle tattiche più utilizzate in questo ambito per la risoluzione delle obsolescenze, come è possibile anche vedere dalla figura 8 del precedente capitolo, nella quale si vede che le tattiche di *replacement* e di *last type buy* coprono all'incirca il 90% delle soluzioni per l'obsolescenza. Considerando che il *replacement* possa essere realizzato attraverso l'applicazione di una tattica di *reverse engineering* o di fonti

alternative, spostandolo quindi nell'ambito delle strategie proattive, si possono riconoscere le seguenti voci di sottocosto associate alla macro voce risoluzione dell'obsolescenza. Si sottolinea anche che tali voci hanno un elevato impatto di costo a causa dell'elevato contributo di costi fissi.

- *life of type (LOT) buy*, anche detto *Lifetime Buy* o *Last Buy*;
- *reverse engineering*;
- fonti alternative (*aftermarket manufacturer/suppliers*).

La voce di costo di risoluzione di obsolescenza, attraverso le diverse sottovoci, si compone di diversi contributi. Per il *last type buy* è riconoscibile un netto collegamento agli aspetti di costo di mantenimento a scorta, quindi, alla scorta media ed al valore del pezzo. Questo tipo di strategia infatti non è null'altro se non un mantenimento a scorta delle quantità presupposte come necessarie per il mantenimento in stato di disponibilità del sistema. Per il *reverse engineering* si fa riferimento agli aspetti legati ai costi di riprogettazione, ri-ingegnerizzazione, rilavorazione e *ri-test*. Queste quattro fasi sono quelle necessarie alla realizzazione dell'approccio di *reverse engineering*, quindi a partire dall'analisi del pezzo finito, si ricostruisce la distinta base del prodotto e si associano quindi gli sforzi di progettazione per poter realizzare *ex novo* quello stesso prodotto, che dovrà essere ingegnerizzato una volta che sia stato progettato, quindi prodotto e testato secondo le severe norme tecniche militari. Per le fonti alternative si fa riferimento, come è facile attendersi, al prezzo di mercato associato ad ogni singolo ricambio. La determinazione di tale valore non sempre risulta essere semplice e diretta, in quanto non sempre si identifica in maniera univoca l'*alternative source*, oppure ne esistono diversi e quindi esistono diversi valori di *alternative sources*.

La seconda voce di costo è quella di *penalty*, che potrebbe essere equiparato, mettendosi dalla parte del cliente, al costo opportunità da dover sopportare all'interno di un impianto tradizionale di produzione manifatturiera, quando vi sia un'indisponibilità della o delle macchine, che, quindi, genera una mancata produzione che conduce all'impossibilità di soddisfare la domanda. Nel nostro caso è il costo dovuto al mancato funzionamento del radar o del sistema di difesa, quantificato sotto forma di penali prestabilite, che l'azienda contraente richiede all'azienda che fornisce il Supporto Logistico Integrato. La voce di costo di *penalty* è strettamente dipendente dal ritardo di consegna di un pezzo sul posto ove sia necessario, essendo presente, per il pezzo oggetto di sostituzione, un problema di obsolescenza. Si deve, quindi, ipotizzare anche una dipendenza dalla possibilità di essere o meno in obsolescenza in un dato istante temporale.

In figura 9 è riportata la *cost break down structure* associata al costo di gestione dell'obsolescenza.

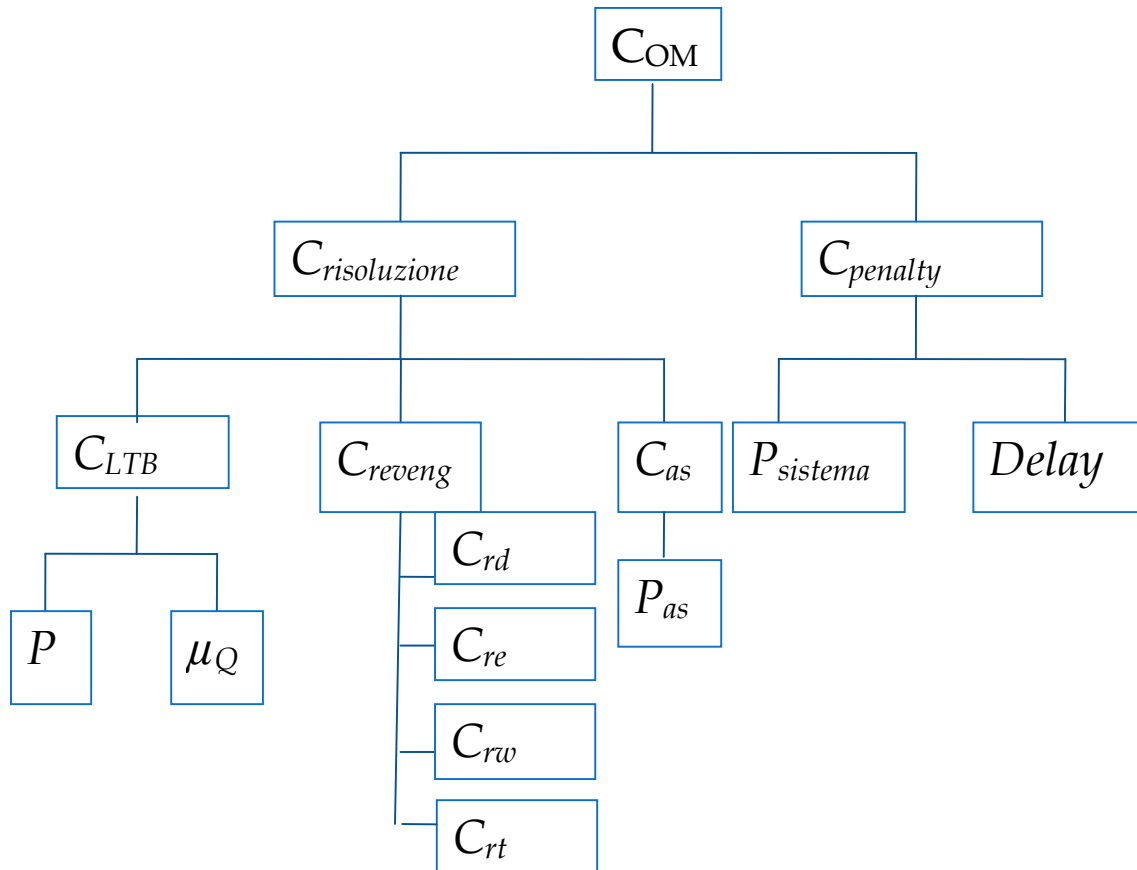


Figura 9: *cost break down structure* del costo di gestione dell'obsolescenza

La *cost break down structure* presentata in figura 9 è una struttura di costo abbastanza complessa con quattro livelli di sviluppo, il che ci fa capire quanto sia difficile poter stabilire un valore di stima collegato ai singoli costi, dovendo scendere ad un buon livello di definizione. Per fortuna gran parte dei costi presenti al quarto livello di analisi sono costi facilmente rilevabili all'interno della singola azienda.

Infatti, il prezzo del componente è univocamente determinato dalla stessa azienda, mentre il livello di scorta media, in fase previsionale può essere stabilito in base alle decisioni strategiche di scorta. Per quanto riguarda, invece, i costi *reverse engineering*, questi possono essere valutati, assegnando degli impegni temporali per le diverse fasi ed assegnando quindi i costi per le ore lavorate delle diverse aree funzionali responsabili

delle diverse fasi del *reverse engineering*. Il prezzo delle *alternative sources*, forse, rappresenta il solo dato da dover cogliere all'esterno della propria azienda in quanto è dipendente da decisioni di terzi, per cui potrebbe presentare una difficoltà di raccolta; anche se è da specificare che nel caso del settore militare gli *alternative sources* sono ampiamente noti ed univocamente determinati, per cui tale problema di identificazione perde in gravità alla luce delle elevate barriere all'ingresso presenti in tale mercato.

2.3 Variabili tecniche di gestione

Dopo aver affrontato dal punto di vista economico la struttura del problema passeremo ora ad analizzare il problema dal punto di vista tecnico-gestionale. In particolare passeremo in rassegna tutte quelle che sono state identificate come variabili sensibili del problema. L'identificazione è avvenuta a cura di esperti in materia logistica ed in materia di gestione dell'obsolescenza.

2.3.1 Previsione dell'istante di obsolescenza

Uno degli aspetti fondamentali collegati al problema della gestione delle obsolescenze è sicuramente quello della classificazione del ricambio come soggetto o meno ad obsolescenza, e nel caso lo sia, di determinarne con adeguato anticipo l'istante in cui si verificherà l'obsolescenza. La previsione di tale istante risulta molto spesso complessa e poco affidabile, essendo associata ad un qualcosa che raramente in passato è stato monitorato per tutti i ricambi. Esistono, infatti, solo alcuni dati spuri su tali istanti, che nella peggiore delle ipotesi possono essere utilizzati per determinare delle previsioni anche per ricambi non perfettamente uguali ma, comunque, simili per funzionalità e tecnologia costruttiva.

La conoscenza dell'istante di obsolescenza anche attraverso un approccio di tipo inferenziale risulterebbe di estremo aiuto, permetterebbe, infatti, di pianificare le azioni correttive necessarie, producendo quindi l'effettiva possibilità di applicare un metodo pro-attivo alla risoluzione del problema. Basti pensare, quanto sia importante avere questa informazione, per poter applicare una tattica di *reverse engineering*, che nel caso non abbia tempi di pianificazione adeguati risulta praticamente inapplicabile. Per tanto la determinazione statistica o anche deterministica di tali istanti risulta di fondamentale importanza per poter definire una strategia pro-attiva.

2.3.2 Numerosità dei sistemi

Altro parametro molto importante per una corretta valutazione dell'impatto, anche finanziario, che un'obsolescenza potrebbe avere sul sistema logistico è quello legato al numero di sistemi nei quali il componente/ricambio è presente. Infatti, il numero di sistemi presenti sul campo che potrebbe generare una domanda di ricambi nel tempo in conseguenza di un evento di guasto, danno una prima misura della rilevanza e della complessità del problema. Basti pensare che oltre al numero di sistemi da dover gestire con dislocazioni territoriali molto varie ed in presenza di un magazzino centralizzato, vi è anche il problema che sorge al momento della progettazione e della costruzione di un nuovo sistema, che deve essere equipaggiato con un componente quasi prossimo all'obsolescenza e che quindi subisce, ancor prima di essere realizzato, gli effetti dell'obsolescenza.

Risulta piuttosto semplice pensare che quest'ultimo problema possa essere affrontato in maniera piuttosto efficace attraverso una modularizzazione della progettazione, che quindi riuscirebbe a modificare in maniera più

veloce le caratteristiche costruttive del prodotto. Tale approccio, però, non sarà analizzato all'interno del presente lavoro. E' da segnalare, comunque, che l'approccio alla progettazione modulare per la risoluzione o la mitigazione del problema di obsolescenza, nel campo specifico, non è stato indagato e neanche sperimentato. Le ragioni di questo mancato studio, con tutta probabilità, risiedono nella estrema *customizzazione* dei sistemi venduti, che rispondono a specifiche tecniche molto particolari e differenti da cliente a cliente.

2.3.3 Scorta media e valore del ricambio

Altra variabile, collegata in parte anche agli aspetti citati nel precedente paragrafo, è quella di scorta media. La scorta media è uno dei parametri fondamentali per la determinazione del costo di mantenimento a scorta, che nel caso della tattica di *last type buy*, costituisce la misura del costo di applicazione di questa tattica.

La determinazione della scorta media, in presenza del fenomeno di obsolescenza, subisce delle modifiche, infatti la strategia di gestione scorte, è necessariamente influenzata nel tempo dalla tattica applicata per la gestione delle obsolescenze, che quindi assume carattere dominante rispetto alla strategia di scorta.

Basti pensare come la scorta si debba adattare nei diversi casi, desumibili dalla decisione di attuare una tattica piuttosto che un'altra, per risolvere un problema di obsolescenza.

Anche il valore associato al pezzo di ricambio, ovviamente ha una sua valenza, generata, fondamentalmente, dalla presenza di un maggiore o un minore rischio finanziario legato alla gestione del pezzo di ricambio.

Infatti, il mantenimento a scorta di un pezzo che oltre a presentare il vincolo di generare immobilizzazioni economiche e finanziarie, presenta anche il rischio di non poter essere mai più utilizzato su un sistema, rappresenta davvero un rischio notevole per il produttore del sistema, che sia anche responsabile del mantenimento dello stato di disponibilità del sistema.

In qualsiasi ottica si consideri tale variabile assume rilevanza fondamentale, grazie alle possibili azioni su questa è possibile raggiungere ulteriori economie, sfruttando gli aspetti legati all'obsolescenza. Infatti, in più fonti è sottolineata l'importanza di detenere bassi livelli di scorta per poter diminuire i costi di produzione e gestione scorte. Ma, è da segnalare anche che un basso livello di scorta può avere notevoli ripercussioni anche sul rischio finanziario legato all'obsolescenza, ed in particolare a quello legato al dover mantenere a scorta ricambi obsoleti tecnologicamente, quindi non più funzionali; mantenere, quindi, un basso livello di scorta permette di mitigare tale rischio o addirittura di eliminarlo. Se ne ricava, quindi, che una buona gestione scorta accoppiata con il problema di obsolescenza, debba essere comandata da una volontà di mantenere basso il livello di magazzino di un dato ricambio, che, ovviamente, sia soggetto ad obsolescenza.

2.3.4 Stock-out pre e post obsolescenza

Altro fattore molto importante da considerare, vista la rilevanza anche ai fini della sicurezza nazionale di un sistema di difesa, è il possibile stock-out di pezzi di ricambio, che siano soggetti ad obsolescenza. In parte questo problema si potrebbe annoverare all'interno della gestione scorte, ma vista

la sua peculiarità si è preferito dedicare un apposito paragrafo a tale variabile.

Lo *stock-out* è legato a doppio filo ad una delle variabili fondamentali per coloro che producono servizi di manutenzione in regime di global service, cioè il livello di servizio, che influenza direttamente il dimensionamento della scorta di sicurezza dovuta a variabilità della domanda e dei tempi di consegna o di produzione. Oggi giorno, ed in particolare per il settore militare, il livello di servizio richiesto è comunque superiore al 90%, come già anticipato nel precedente capitolo, nel caso specifico dei sistemi di difesa e di monitoraggio (*radar*), la disponibilità del sistema deve raggiungere anche valori prossimi al 97-98%. I valori di livello di servizio sono stabiliti all'interno del contratto stipulato tra il cliente e il produttore/manutentore, e tali valori devono essere rispettati, pena l'insorgere di costi di *penalty*, crescenti al crescere del *delay time*, e quindi del tempo di indisponibilità del sistema (N.B.: anche i valori percentuali di *penalty*, rispetto al prezzo, sono stabiliti all'interno del contratto).

Detto tutto ciò, lo *stock-out* di un pezzo come effetto diretto, in condizioni normali, genera un aggravio di costo, che è misurabile attraverso i costi di *penalty*, ma in regime di obsolescenza, ed in particolare quando non sia stato neanche programmato l'intervento per la risoluzione di questa, si potrebbe venire a creare una situazione catastrofica, nella quale il pezzo non è disponibile né presso *aftermakers* né all'interno del proprio magazzino. In tali condizioni, le conseguenze di uno *stock-out* sono davvero impressionanti in termini di costi vivi da dover sopportare per il manutentore, ed in termini di costi di insicurezza, difficilmente quantificabili, per il cliente. Infatti, le stesse percentuali di *penalty*

confrontati con l'impatto generato da un'indisponibilità dovuta ad obsolescenza risultano essere di scarso rilievo.

In questo lavoro si affronteranno i problemi generati dalla possibilità di cadere in sotto scorta in presenza di obsolescenza tecnologica. Sarà affrontata la possibilità di prevedere gli istanti di obsolescenza, in modo quindi da determinare dei frame temporali, interni al ciclo di vita complessivo del sistema, all'interno dei quali si determinano politiche di gestione scorte, che noto il livello di servizio da garantire ed il periodo di pianificazione per la risoluzione dell'obsolescenza, riescano a garantire, da un lato, l'ottimizzazione della politica di scorte e, dall'altro, la gestione, al minimo costo, delle obsolescenze dei pezzi di ricambio.

2.3.5 Reverse Engineering

Il presente paragrafo sarà dedicato al *reverse engineering*, che potrebbe non essere riconosciuto come variabile, ma vista la sua peculiarità tecnica ed organizzativa, si è ritenuto presentarlo, non tanto come macro fattore, ma bensì come generatore di sottovariabili tecniche, che di seguito saranno presentate.

Quando sia opportuno, in termini di costi, procedere a realizzare un ricambio attraverso un'operazione di *reverse engineering* grande attenzione deve essere rivolta alla corretta preventivazione e, quindi, progettazione delle attività da sviluppare per la realizzazione del pezzo di ricambio, che sia in regime di obsolescenza.

Risulta, piuttosto evidente, che per poter attuare questo tipo di tattica è necessario avere dei tempi di pianificazione adeguati, che permettano di sviluppare le fasi principali di tale processo in maniera adeguata; tali fasi

sono: (i) ri-progettazione, (ii) ri-ingegnerizzazione, (iii) ri-lavorazione e (iv) *ri-test*. Questi *steps* possono essere gestiti in tempi molto diversi, a seconda della complessità del pezzo da dover sostituire. Naturalmente una soluzione di questo tipo deve essere giustificata da un impatto di costo per unità di ricambio prodotto, che sia inferiore rispetto al costo unitario associato alle altre tattiche risolutive. Quindi, sembrerebbe lecito poter presupporre che tale tattica sia applicabile soprattutto quando la numerosità dei sistemi che ospitano il componente sia piuttosto rilevante. E' importante, inoltre, notare che l'applicazione di una tale tattica, viste le variabili poste in gioco, legate all'area progettazione, all'area ingegnerizzazione, e così via, potrebbe richiedere un approccio, per la sua gestione, che faccia esplicito riferimento alle tecniche di *concurrent engineering* e di *project management*.

Infatti, tale tattica richiede una pianificazione molto efficace delle attività visto che chiede il contributo di tutte le fasi lavorative associate allo sviluppo prodotti, per cui è importante che il manager sia in grado di bilanciare i contributi di lavoro derivati dal *reverse engineering* con quelli derivati dallo sviluppo nuovi prodotti. Vista la complessità di attività da dover gestire, sussiste anche la possibilità di non poter avere a disposizione le risorse necessarie a portare avanti tali attività, dal momento che le funzioni da dover coinvolgere potrebbero essere occupate nello svolgimento di altre mansioni o compiti.

2.3.6 Tasso di domanda e parametri manutentivi

Altra variabile da dover considerare, per poter affrontare a pieno il problema di gestione delle obsolescenze, è quello dell'analisi dei parametri manutentivi e del tasso di domanda. Infatti, all'interno dei frame temporali

nei quali si gestisce la scorta, in maniera normale, risulta di primaria importanza valutare in maniera preventiva, per poter progettare la dimensione di scorta, la domanda di pezzi di ricambio. Come molti autori suggeriscono un modo per poter prevedere la domanda di pezzi di ricambio è quello di conoscere i parametri manutentivi durante la vita del pezzo. Per cui i due aspetti prima introdotti, in questo ambito risultano essere molto connessi.

Nel caso particolare affrontato in questo lavoro (ndr: schede elettroniche) la vita del componente è caratterizzata da un tasso di guasto ascrivibile, fondamentalmente, alla cosiddetta fase di guasti infantili ed alla vita utile. Gli andamenti del tasso di guasto ($\lambda(t)$) in funzione del tempo, in queste due fasi sono noti ed a titolo di esempio sono riportati in figura 10.

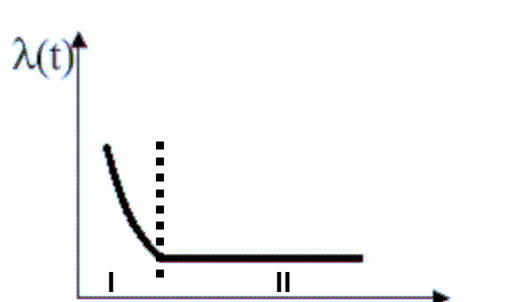


Fig. 10: Tasso di guasto di componenti elettronici

Come noto, la fase di vita legata alla mortalità infantile, può essere descritta in maniera efficace attraverso una curva di Weibull, quindi attraverso i parametri di vita caratteristica (α) e di forma della curva (β). La seconda fase della vita del componente elettronico, cioè la vita utile, può essere efficacemente descritta attraverso una distribuzione esponenziale di Poisson, con parametro caratteristico (λ) costante.

La conoscenza di tali parametri molto spesso risulta al quanto difficile da raggiungere, a tal fine, generalmente si cerca di ricondurre la conoscenza di

tali parametri a fattori non legati a serie storiche manutentive, ma attraverso l'esperienza dei manutentori e dei tecnici di sistema.

Vista la rilevanza di valore di ogni singolo ricambio è necessario conoscere tali parametri per stimare la domanda, che è il parametro fondamentale, per poter dimensionare la scorta media e la scorta di sicurezza, la cui dimensione dipende anche dalla corretta stima della domanda di pezzi.

2.4 Relazioni tra variabili

Tutte le variabili sin qui prese in considerazione, sia di tipo economico che tecnico, contribuiscono in diversa maniera al problema, ed, in particolare, alla sua complessità. Le relazioni tra le singole variabili sono profonde e tutte influiscono le une sulle altre, generando quindi una rete, che quindi genera complessità.

A causa di tale complessità si è deciso di strutturare un sistema di supporto a decisione, che combini tutte le variabili di diversa natura con le informazioni relative alla possibilità di applicare tattiche diverse per la risoluzione del problema logistico per pezzi di ricambio, con alti *lead time* di produzione e appartenenti a sistemi con lunghi cicli di vita, con presenza di obsolescenza tecnologica.

Capitolo 3 – Il modello di supporto a decisione

3.1 La funzione econometrica

Dai precedenti contributi è stato quindi possibile intuire quale sia la rilevanza del problema di gestione delle obsolescenze nel caso introdotto.

Da più parti, ed in particolare dal mondo industriale, si è sottolineata la necessità di dover strutturare un modello che fosse *cost effective* per la gestione del problema sin qui rilevato.

Il semplice affrontare il problema per via reattiva e non pro-attiva, sinora, ha condotto a dover sopportare costi molto rilevanti, e soprattutto non esiste, ad oggi, alcun modello di rendicontazione o addirittura di previsione dei costi connessi alla gestione delle obsolescenze in ottica pro-attiva.

A tal fine si è deciso di produrre uno sforzo di organizzazione delle varie voci di costo che possono comporre il costo totale di gestione dell'obsolescenza. In particolare si intende creare una funzione di costo che sia utile soprattutto in fase previsionale; a tale scopo i singoli costi saranno pesati con delle probabilità, che saranno rappresentanti dalle frequenze di accadimento dei singoli costi, tali frequenze è possibile desumerle o comunque produrle tramite un approccio simulativo.

Da quanto sinora introdotto la funzione di costo ha due principali voci da tenere in considerazione, una è quella legata agli eventuali costi di *penalty* ed un'altra, invece, è quella legata alla gestione dell'obsolescenza, nell'ambito della strategia pro-attiva, applicando una tattica tra *last type buy*, *reverse engineering* e fonti alternative.

Il costo di gestione delle obsolescenze, quindi, si compone di due costi, che a loro volta sono costituiti da altri sottocosti e variabili. Nella (1) è illustrata la funzione di costo proposta, che sarà illustrata nel dettaglio nel seguito.

$$C_{OM} = C_p + C_r \quad (1)$$

I termini a destra della (1) rappresentano come già detto i costi di *penalty* ed i costi di risoluzione dell'obsolescenza.

Il primo termine, cioè il costo di *penalty* dipende, come è stato possibile desumere dall'analisi di un contratto tipo relativo alla fornitura di un sistema radar da diverse aliquote percentuali del prezzo del sistema, che in ottima approssimazione possono essere raccolte con una funzione di interpolazione lineare in funzione del ritardo con cui un pezzo è presente sul posto dove si sia verificato il guasto. Tale costo lo si ha quando vi sia uno *stock-out* di un pezzo di ricambio soggetto ad obsolescenza. Per cui affinché questo costo si verifichi è necessario che ci si trovi in un istante successivo a quello di obsolescenza e che si verifichi uno *stock-out* di tale ricambio. Detto tutto ciò è quindi possibile formulare per il costo di *penalty* la seguente funzione illustrata in (2).

$$C_p = \Pr\{t = t^*\} \cdot \Pr\{i(t') = 0 | t' > t^*\} \cdot (a - b \cdot D)\% \cdot P_{sist} \quad (2)$$

Legenda	
t	Tempo
$\Pr\{t=t^*\}$	Probabilità di essere in un istante di obsolescenza t^*
$i(t)$	Funzione del livello di scorta nel tempo
$\Pr\{i(t')=0 t'>t^*\}$	Probabilità di essere in stock-out in un istante di tempo t' successivo all'istante di obsolescenza t^*
a	Coefficiente di interpolazione lineare (intercetta)
b	Coefficiente di interpolazione lineare (momento angolare)
D	Delay time (tempo di ritardo) del pezzo di ricambio sul posto
P_{sist}	Prezzo del sistema

Tab. 3: Legenda dei termini relativi al costo di *penalty*

E' importante notare che la funzione di penalty ed in particolare la funzione di interpolazione lineare tra il *delay time* e le percentuali di penale è costruita come specificato dalla (3). Tale formulazione è dovuta al fatto che nel caso si presenti un valore nullo di *delay*, il costo di penalty non assumerebbe valore nullo, come sarebbe lecito attendersi, ma un valore pari a $a\%P$; per questo, quindi, è stata introdotta una discontinuità che porta il valore di costo di penalty al valore nullo quando il *delay* assume valori nulli.

$$C_p = \begin{cases} [(a - b \cdot D)\% \cdot P] & \forall D > 0 \\ 0 & \text{if } D \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

In figura 11 è riportata la rappresentazione dell'andamento della funzione (3).

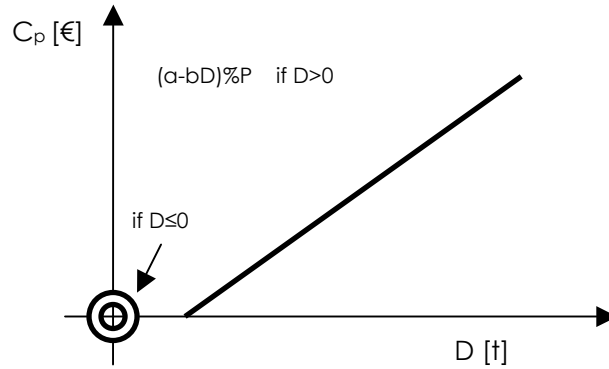


Fig. 11: andamento della funzione di costo di penalty

La seconda aliquota della funzione di costo di gestione dell'obsolescenza, come già anticipato, riguarda il costo relativo alla sua risoluzione. Visto l'obiettivo dichiarato nel presente lavoro, cioè quello di costruire un modello di gestione per l'applicazione di tattiche appartenenti alla strategia pro-attiva per la risoluzione del problema di obsolescenza, si riesce

facilmente a capire, che tale costo è suddivisibile in tre aliquote, come già detto prima, cioè:

- *last type buy*,
- *reverse engineering* e
- fonti alternative (o anche *alternative sources*).

Possiamo quindi introdurre le aliquote che compongono questi sottocosti relativi al costo di risoluzione di obsolescenza.

Partiremo dal costo di *last type buy* (C_{LTB}). Tale costo rappresenta il mantenimento a scorta di un determinato quantitativo di ricambi che possono far fronte alle esigenze di un dato periodo temporale, avendo come obiettivo il mantenimento in stato di disponibilità del sistema. Per cui, come è possibile ravvisare nella letteratura scientifica consolidata, tale costo è dato dal prodotto tra un coefficiente percentuale, che rappresenta l'incidenza di costo per unità di valore e di tempo di stoccaggio, un prezzo, rappresentante del valore del singolo bene detenuto a scorta, il tempo di mantenimento a scorta e la quantità media detenuta. La formulazione matematica di tale costo è quindi quella illustrata in (4), ipotizzando un periodo di giacenza posto a base di calcolo pari ad un anno. Il verificarsi di questa tattica implica che ci si debba trovare in obsolescenza e che, in modo lapalissiano, non ci si debba trovare in condizioni di *stock-out*.

$$C_{LTB} = \Pr\{t = t^*\} \cdot \Pr\{i(t') > 0 \mid t' > t^*\} \cdot c_{\%} \cdot P \cdot \mu_Q \quad (4)$$

Legenda	
t	Tempo
$Pr\{t=t^*\}$	Probabilità di essere in un istante di obsolescenza t^*
$i(t)$	Funzione del livello di scorta nel tempo
$Pr\{i(t')>0 t'>t^*\}$	Probabilità di non essere in stock-out in un istante di tempo t' successivo all'istante di obsolescenza t^*
$c\%$	Valore percentuale del prezzo corrispondente al costo di mantenimento per unità di prodotto immagazzinata ed unità di tempo di immagazzinamento (N.B.: nel caso è stata posta una base di calcolo temporale di un anno)
P	Prezzo del componente
μ_0	Scorta media del ricambio

Tab. 4: Legenda dei termini relativi al costo di *last type buy*

Altra voce di costo interna al costo di risoluzione dell'obsolescenza è quella legata alla tattica di *reverse engineering*. Tale voce di costo (C_{rev}) è quella che prende in considerazione tutte le attività da dover sviluppare per percorrere a ritroso i passi necessari alla realizzazione di un determinato pezzo. Per semplicità, in questo lavoro si prendono in considerazione i vari costi di ricostruzione, comprendendo all'interno di questi i costi da dover sostenere per poter risalire alla progettazione, ingegnerizzazione, etc. ed i costi necessari alla ri-lavorazione e *ri-test*; ovviamente questi costi sono relativi ad un certo numero di pezzi N , per cui per ottenere il costo unitario, è necessario dividere tale costo totale di *reverse engineering* per il numero totale di pezzi necessari. L'applicazione della tattica di *reverse engineering* si ha quando vi sia la presenza di uno *stock-out* in un istante di tempo successivo al verificarsi di un'obsolescenza. La formulazione matematica di quanto finora espresso è riportata nella (5).

$$C_{rev} = Pr\{t=t^*\} \cdot Pr\{i(t')=0|t'>t^*\} \cdot [(C_{rd} + C_{re} + C_{rw} + C_{rt})/N] \quad (5)$$

Legenda	
t	Tempo
$Pr\{t=t^*\}$	Probabilità di essere in un istante di obsolescenza t^*
$i(t)$	Funzione del livello di scorta nel tempo
$Pr\{i(t')=0 t'>t^*\}$	Probabilità di non essere in stock-out in un istante di tempo t' successivo all'istante di obsolescenza t^*
C_{rd}	Costo di re-design
C_{re}	Costo di ri-ingegnerizzazione
C_{rw}	Costo di ri-lavorazione
C_{rt}	Costo di ri-verifica
N	Numero totale dei pezzi di ricambio che saranno prodotti

Tab. 5: Legenda dei termini relativi al costo di *reverse engineering*

Ultima voce di costo che va a comporre il termine di risoluzione di obsolescenza è quello relativo all'eventuale attuazione della tattica di fonti alternative, o altrimenti detta, di *alternative sources* (C_{as}). Il costo generato da tale tattica è fondamentalmente collegato al costo di acquisto, avendo scelto per semplicità di non considerare i costi indiretti da dover sostenere per rintracciare un soggetto che sia in possesso del pezzo di ricambio necessario. E' possibile realizzare tale approssimazione dal momento che generalmente, per il settore analizzato, cioè quello della produzione militare, i fornitori sono ben identificati, per cui i costi di *procurement* sono piuttosto contenuti rispetto ai costi di acquisto, cioè il prezzo (P_{as}). Ovviamente tale costo lo si ha in presenza di uno *stock out* in un istante di tempo successivo al verificarsi di un'obsolescenza e quando ci si trovi in obsolescenza. Nella (6) è riportata la, seppur banale, formulazione matematica del costo di *alternative sources*.

$$C_{as}=P_{as}\cdot Pr\{t=t^*\}\cdot Pr\{i(t')=0|t'>t^*\} \quad (6)$$

Per cui, considerando che tutte queste voci di costo siano connesse in diversa misura, attraverso una formulazione lineare, e presupponendo che tutti questi costi siano variabili con il numero di pezzi di ricambio da dover approvvigionare, che poi in definitiva può essere considerato una variabile

strettamente connessa al numero di sistemi presenti sul campo (N), è possibile formulare la voce di costo previsionale di *obsolescence management* come riportato nella (7).

$$C_{OM} = N \cdot \left\{ \Pr\{t = t^*\} \cdot \left[\Pr\{i(t') = 0 | t^* < t'\} \cdot (a - bD)\% \cdot \frac{P_{sist}}{T} + \Pr\{i(t') > 0 | t' > t^*\} \cdot \left(\frac{c_{\%} \cdot P \cdot \mu_Q}{N} \right) \cdot T + \right. \right. \\ \left. \left. \alpha \cdot \Pr\{i(t') = 0 | t' > t^*\} \cdot \left(\frac{C_{rd} + C_{re} + C_{rw} + C_{rt}}{N} \right) \cdot T + (1 - \alpha) \cdot \Pr\{i(t') = 0 | t' > t^*\} \cdot P_{as} \cdot T \right] \right\} \quad (7)$$

Il termine α è una variabile binaria che assume il valore nullo quando il costo di *alternative sources* unitario è inferiore al costo unitario di *reverse engineering*, altrimenti assume valore unitario. I significati di tutte le altre variabili, invece, possono essere desunti dalle precedenti tabelle illustrative (tab. 3:5).

Il termine T, rappresenta il periodo di obsolescenza. Per cui si riconosce che al crescere del periodo di obsolescenza i costi di *penalty* diminuiscono, in quanto diminuisce la possibilità di essere più volte in tale stato, al crescere del periodo di obsolescenza cresce il costo di mantenimento a scorta perché ovviamente la scorta deve essere detenuta per un periodo superiore, al crescere del periodo di obsolescenza cresce il costo di *reverse engineering* a causa della maggiore difficoltà ad effettuare le operazioni inverse utili alla ri-progettazione e ricostruzione del ricambio in quanto il pezzo conterrà tecnologie più “anziane” la cui conoscenza è più lontana nel tempo, al crescere del periodo di obsolescenza cresce il costo relativo alle *alternative sources*.

Per cui è possibile riconoscere tre andamenti crescenti ed un andamento decrescente delle singole funzioni di costo che compongono il costo di *obsolescence management*, per cui, la loro somma va a costituire una

funzione concava, che cioè presenta un minimo assoluto, che per noi rappresenta la dimostrazione che è possibile ottimizzare il problema ed esiste una soluzione.

Da tale funzione è quindi possibile ricavare l'ottimo periodo di obsolescenza che minimizza la funzione econometrica di gestione dell'obsolescenza. Infatti, è possibile riconoscere per tale funzione un andamento concavo e continuo nel dominio del tempo, per cui esiste un punto di minimo nel dominio del tempo relativo alla durata dell'obsolescenza, come è possibile dedurre dalla figura 12.

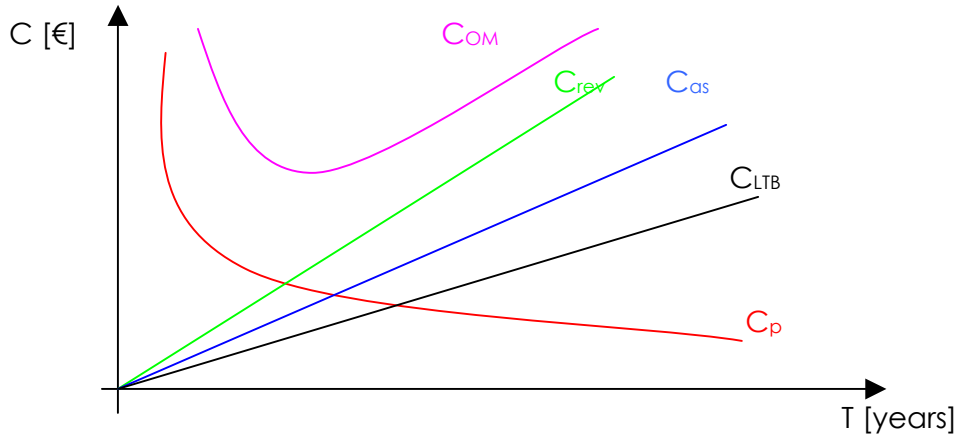


Fig. 12: andamento delle curve di costo in funzione della durata del periodo di obsolescenza

Per cui, imponendo la condizione di ottimo del primo tipo, cioè derivando la (7) rispetto alla durata del periodo di obsolescenza, ipotizzando le probabilità dipendenti dalla variabile T come costanti, e ponendo tale derivata uguale al valore nullo, si ottiene la condizione di minimo (8), che fornisce il valore ottimo del periodo di obsolescenza, cioè quello che minimizza il costo di gestione ad esso associato.

$$T^* = \sqrt{\left[\frac{(N \cdot \Pr\{t = t^*\} \cdot \Pr\{i(t') = 0 | t' > t^*\} \cdot (a - bD)\% \cdot P_{sist})}{N \cdot \Pr\{t = t^*\} \cdot \Pr\{i(t') = 0 | t' > t^*\} \cdot \frac{c_o \cdot P \cdot \mu_o}{N} + \alpha \cdot \Pr\{i(t') = 0 | t' > t^*\} \cdot \left(\frac{C_{rd} + C_{re} + C_{rw} + C_{rt}}{N} \right) + (1 - \alpha) \cdot \Pr\{i(t') = 0 | t' > t^*\} \cdot P_{as}} \right]} \quad (8)$$

3.2 Analisi di sensitività relativa alle componenti di costo della gestione dell'obsolescenza

Applicando le tipiche tecniche di *Design Of Experiments* (DOE) si è proceduto a valutare quali siano i contributi di variabilità al problema, ricavando in questo modo quali siano i rischi associati a ciascuna variabile di costo, che è presentata nella (7). In definitiva si va a valutare quale sia la sensitività del problema alla variazione delle singole variabili prese due alla volta mantenendo tutte le altre costanti. L'analisi e, quindi, la valutazione della variabilità delle singole variabili rispetto alla variazione del costo totale di *obsolescence management* è stata realizzata attraverso l'applicazione del metodo dell'analisi della varianza (ANOVA).

Attraverso l'attribuzione di valori casuali alle singole variabili, all'interno del loro *range* di valori, è stato, quindi, possibile casualizzare il piano degli esperimenti, rendendo, quindi, l'indagine possibile.

Siccome i livelli di ogni fattore, realmente usati nell'esperimento, sono scelti a caso, le inferenze si riferiscono all'intera popolazione dei livelli dei fattori.

Nel caso in esame i fattori di disturbo sono più di uno e precisamente sette. In questo caso si dovrebbe effettuare un'ANOVA a sette vie, il che comporterebbe difficoltà sia nella costruzione del piano sperimentale sia nel calcolo della varianza imputabile ai fattori in esame. Per questo motivo si è scelto di prendere i fattori in coppia in modo tale da costruire piani sperimentali $n \times b$ (dove n sono i livelli del primo fattore ed b quelli del secondo fattore), facendo rimanere costanti gli altri.

Si sono costruiti, così, i piani casualizzati a blocchi sui quali è stata condotta l'analisi della varianza.

Inoltre, essendo la nostra, un'analisi di valutazione del rischio capace di funzionare come supporto decisionale, e non di determinazione del costo al termine di un processo di gestione dell'obsolescenza, si sono arrotondati i valori dei costi di gestione dell'ordine dei milioni. È evidente, infatti, che un modello di previsione non possa analizzare in dettaglio i fattori che lo costituiscono.

E', inoltre, importante notare che le variabili relative al costo di *reverse engineering* e di *alternative sources* non sono comprese nell'analisi in quanto il loro valore è quasi sempre fissato, quindi contribuiscono poco alla variabilità del problema complessivo.

Quindi avremo i seguenti fattori sui quali saranno costruiti i piani sperimentali:

$$1) \Pr\{i(t') = 0 | t' > t^*\} \text{ vs } \Pr\{t = t^*\}$$

$$2) C_{LTB} \text{ vs } \Pr\{t = t^*\}$$

$$3) C_p \text{ vs } \Pr\{t = t^*\}$$

$$4) \Pr\{i(t') \geq 0 | t' > t^*\} \text{ vs } C_{LTB}$$

$$5) \Pr\{i(t') \geq 0 | t' > t^*\} \text{ vs } C_p$$

$$6) C_{LTB} \text{ vs } C_p$$

$$7) \Pr\{t = t^*\} \text{ vs } N$$

$$8) \Pr\{i(t') \geq 0 | t' > t^*\} \text{ vs } N$$

$$9) C_{LTB} \text{ vs } N$$

$$10) C_p \text{ vs } N$$

Il fattore $\Pr\{t = t^*\}$ è la probabilità che il sistema sia in uno stato di obsolescenza in un dato istante temporale.

$\Pr\{i(t') \geq 0 | t' > t^*\}$, è la probabilità che la scorta sia maggiore di zero ed è legata alla giacenza media, trovandosi in un istante temporale successivo al verificarsi di un'obsolescenza.

La variabilità associata ad ogni singola variabile è riportata nella tabella 6.

	Min	Max	Step	Measurement Unit
μ_O	430	550	5	[items]
$\Pr\{i(t')=0 t' > t^*\}$	0.78	1	0.01	[#]
$\Pr\{i(t') \geq 0 t^* < t'\}$	0	0.22	0.009	[#]
$\Pr\{t=t^*\}$	3.41E-06	0.82	NA	[#]
C_{LB}	0	206053	NA	[€]
C_p	0	2676	NA	[€]
C_{RE}	0	1.71E+08	NA	[€]
C_{AS}	0	3077	NA	[€]
N	1	1000	100	[items]

Tab. 6: variabilità e unità di misura associate alle singole variabili

Saranno riportate tutte le rispettive analisi della varianza; è importante notare che ogni ANOVA è calcolato nel caso che la variabile α sia prima nulla e poi pari ad uno.

L'ordine di presentazione delle analisi della varianza è quello presentato in precedenza.

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{t = t^*\}$	1,31969E+17	24	5,49871E+15	445,1961795	8,57581E-69
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	5,2504E+14	3	1,75013E+14	14,16974429	2,37272E-07
Errore	8,89286E+14	72	1,23512E+13		
Totale	1,33383E+17	99	1,34731E+15		

Tab. 7: probabilità di obsolescenza vs probabilità di non essere in stock out con $\alpha=0$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{t = t^*\}$	1,18274E+23	24	5,49871E+15	4,92809E+21	5,36198E-26
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	3,62024E+22	3	1,75013E+14	1,20675E+22	7,95072E-20
Errore	1,41249E+22	72	1,23512E+13		
Totale	1,68602E+23	99	1,34731E+15		

Tab. 8: probabilità di obsolescenza vs probabilità di non essere in stock out con $\alpha=1$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{t = t^*\}$	2,99684E+17	24	1,24868E+16	235,0115799	6,32214E-59
C_{LB}	3,36875E+15	3	1,12292E+15	21,13411725	6,34271E-10
Errore	3,82557E+15	72	5,31329E+13		
Totale	3,06879E+17	99	3,09978E+15		

Tab. 9: probabilità di obsolescenza vs costo di last type buy con $\alpha=0$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{t = t^*\}$	1,18274E+23	24	5,49871E+15	4,92809E+21	5,36198E-26
C_{LB}	3,62024E+22	3	1,75013E+14	1,20675E+22	7,95072E-20
Errore	1,41249E+22	72	1,23512E+13		
Totale	1,68602E+23	99	1,34731E+15		

Tab. 10: probabilità di obsolescenza vs costo di last type buy con $\alpha=1$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{t = t^*\}$	1,47016E+17	24	6,12567E+15	31544,02741	2,8471E-135
C_P	0	3	0	0	1
Errore	1,3982E+13	72	1,94194E+11		
Totale	1,4703E+17	99	1,48515E+15		

Tab. 11: probabilità di obsolescenza vs costo di penalty con $\alpha=0$

Origine della varianza	Somma dei quadrati degli scarti	Gradi di libertà	Scarto quadratico medio	Valore atteso dello s.q.m. F_0	p-value
$\Pr\{t = t^*\}$	6,84711E+22	24	2,85296E+21	15059425106	0
C_P	0	3	0	0	1
Errore	1,36402E+13	72	1,89447E+11		
Totale	6,84711E+22	99	6,91628E+20		

Tab. 12: probabilità di obsolescenza vs costo di penalty con $\alpha=1$

Origine della varianza	Somma dei quadrati degli scarti	Gradi di libertà	Scarto quadratico medio	Valore atteso dello s.q.m. F_0	p-value
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	7,84E+14	3	2,61333E+14	122,9259619	1,27359E-07
C_{LB}	3,592E+15	3	1,19733E+15	563,2016008	1,48085E-10
Errore	1,91335E+13	9	2,12594E+12		
Totale	4,39513E+15	25	2,93009E+14		

Tab. 13: probabilità di non essere in stock out vs costo di last type buy con $\alpha=0$

Origine della varianza	Somma dei quadrati degli scarti	Gradi di libertà	Scarto quadratico medio	Valore atteso dello s.q.m. F_0	p-value
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	1,37943E+21	3	4,59811E+20	121630283,9	1,50362E-34
C_{LB}	3,38E+15	3	1,12667E+15	298,0287289	2,53695E-09
Errore	3,40236E+13	9	3,7804E+12		
Totale	1,37944E+21	25	9,19624E+19		

Tab. 14: probabilità di non essere in stock out vs costo di last type buy con $\alpha=1$

Origine della varianza	Somma dei quadrati degli scarti	Gradi di libertà	Scarto quadratico medio	Valore atteso dello s.q.m. F_0	p-value
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	7,84E+14	3	2,61333E+14	122,9259619	1,27359E-07
C_P	3,592E+15	3	1,19733E+15	563,2016008	1,48085E-10
Errore	1,91335E+13	9	2,12594E+12		
Totale	4,39513E+15	25	2,93009E+14		

Tab. 14: probabilità di non essere in stock out vs costo di penalty con $\alpha=0$

Origine della varianza	Somma dei quadrati degli scarti	Gradi di libertà	Scarto quadratico medio	Valore atteso dello s.q.m. F_0	p-value
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	1,37943E+21	3	4,59811E+20	121630283,9	1,50362E-34
C_P	3,38E+15	3	1,12667E+15	298,0287289	2,53695E-09
Errore	3,40236E+13	9	3,7804E+12		
Totale	1,37944E+21	25	9,19624E+19		

Tab. 15: probabilità di non essere in stock out vs costo di penalty con $\alpha=1$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
C_{LB}	4,148E+15	3	1,38267E+15	2786,388294	1,1346E-13
C_P	4E+12	3	1,33333E+12	2,68697039	0,109440052
Errore	4,466E+12	9	4,96222E+11		
Totale	4,15647E+15	25	2,77098E+14		

Tab. 16: costo di last type buy vs costo di penalty con $\alpha=0$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
C_{LB}	3,924E+15	3	1,308E+15	3276,065871	5,48008E-14
C_P	4E+12	3	1,33333E+12	3,339516688	0,069748518
Errore	3,59333E+12	9	3,99259E+11		
Totale	3,93159E+15	25	2,62106E+14		

Tab. 17: costo di last type buy vs costo di penalty con $\alpha=1$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{t = t^*\}$	8,11409E+32	24	3,38087E+31	1,002366531	0,463920363
N	3,45382E+34	10	3,45382E+33	102,3993801	1,0612E-80
Errore	8,09494E+33	240	3,37289E+31		
Totale	4,34445E+34	274	1,58557E+32		

Tab. 18: probabilità di obsolescenza vs numerosità dei sistemi cui appartiene il ricambio con $\alpha=0$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{t = t^*\}$	8,11113E+32	24	3,37964E+31	1,002206759	0,464128936
N	3,51715E+34	10	3,51715E+33	104,2986071	1,79685E-81
Errore	8,09327E+33	240	3,37219E+31		
Totale	4,40759E+34	274	1,60861E+32		

Tab. 19: probabilità di obsolescenza vs numerosità dei sistemi cui appartiene il ricambio con $\alpha=1$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{i(i') \geq 0\}$	4,95091E+14	3	1,6503E+14	12,23095178	2,12675E-05
N	2,04989E+16	10	2,04989E+15	151,9243218	7,27086E-23
Errore	4,04785E+14	30	1,34928E+13		
Totale	2,13988E+16	43	4,97646E+14		

Tab. 20: probabilità di no stock out vs numerosità dei sistemi cui appartiene il ricambio con $\alpha=0$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	9,49114E+20	3	3,16371E+20	7,705301579	0,000582901
N	3,76635E+21	10	3,76635E+20	9,1730372	1,02039E-06
Errore	1,23177E+21	30	4,10589E+19		
Totale	5,94723E+21	43	1,38308E+20		

Tab. 21: probabilità di no stock out vs numerosità dei sistemi cui appartiene il ricambio con $\alpha=1$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
C_{LB}	1,386E+15	3	1,6503E+14	2,486572071	0,079618017
N	3,4996E+16	10	3,4996E+15	18,83551433	2,62084E-10
Errore	5,57394E+15	30	1,85798E+14		
Totale	4,19559E+16	43	9,7572E+14		

Tab. 22: costo di last type buy vs numerosità dei sistemi cui appartiene il ricambio con $\alpha=0$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
C_{LB}	3,32769E+18	3	1,10923E+18	0,027015546	0,993876938
N	2,13734E+21	10	2,13734E+20	5,20553851	0,000202943
Errore	1,23177E+21	30	4,10589E+19		
Totale	3,37243E+21	43	7,84287E+19		

Tab. 23: costo di last type buy vs numerosità dei sistemi cui appartiene il ricambio con $\alpha=1$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
C_p	0	3	0	0	1
N	9,64851E+20	10	9,64851E+19	530562502,4	7,4844E-121
Errore	5,45563E+12	30	1,81854E+11		
Totale	9,64851E+20	43	2,24384E+19		

Tab. 24: costo di penalty vs numerosità dei sistemi cui appartiene il ricambio con $\alpha=0$

<i>Origine della varianza</i>	<i>Somma dei quadrati degli scarti</i>	<i>Gradi di libertà</i>	<i>Scarto quadratico medio</i>	<i>Valore atteso dello s.q.m. F_0</i>	<i>p-value</i>
C_p	0	3	0	0	1
N	2,12269E+21	10	2,12269E+20	1232310332	2,4233E-126
Errore	5,16759E+12	30	1,72253E+11		
Totale	2,12269E+21	43	4,93649E+19		

Tab. 25: costo di penalty vs numerosità dei sistemi cui appartiene il ricambio con $\alpha=1$

Volendo riassumere tutti i risultati sin qui ottenuti è possibile farlo attraverso le tabelle da 26 a 29.

	$\Pr\{t=t^*\}$	$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	C_{LB}	C_P	N
$\Pr\{t=t^*\}$		8,57581E-69	6,32214E-59	2,8471E-135	0,463920363
		2,37272E-07	6,34271E-10	1	1,0612E-80
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$			1,27359E-07	2,48513E-06	2,12675E-05
			1,48085E-10	0,710318109	7,27086E-23
C_{LB}				1,1346E-13	0,079618017
				0,109440052	2,62084E-10
C_P					1
					7,4844E-121
N					

Tab. 26: Riassunto dei p-values per $\alpha=0$

	$\Pr\{t=t^*\}$	$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	C_{LB}	C_P	N
$\Pr\{t=t^*\}$		5,36198E-26	1,3344E-251	0	0,464128936
		7,95072E-20	1,22563E-09	1	1,79685E-81
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$			1,50362E-34	1,50064E-34	0,000582901
			2,53695E-09	0,788429382	1,02039E-06
C_{LB}				5,48008E-14	0,993876938
				0,069748518	0,000202943
C_P					1
					2,4233E-126
N					

Tab. 27: Riassunto dei p-values per $\alpha=1$

	$\Pr\{t=t^*\}$	$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	C_{LB}	C_P	N
$\Pr\{t=t^*\}$		1,37159E+15	3,10843E+15	1,53137E+15	7,25641E+27
		6,50649E+12	4,27914E+13	0	1,36804E+32
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$			6,48018E+13	3,23852E+13	1,37761E+13
			2,98802E+14	0	5,091E+14
C_{LB}				3,45543E+14	2,51093E+13
				2,09278E+11	8,28451E+14
C_P					0
					2,41213E+19
N					

Tab. 28: Riassunto delle varianze per $\alpha=0$

	$\Pr\{t=t^*\}$	$\Pr\{i(t') \geq 0\}$	C_{LB}	C_P	N
$\Pr\{t=t^*\}$		1,18298E+21	7,13392E+20	7,13241E+20	6,76511E+27
		4,74851E+20	4,09962E+13	0	1,39337E+32
$\Pr\{i(t') \geq 0\}$			1,14953E+20	1,15003E+20	6,88281E+19
			2,80722E+14	0	8,3894E+19
C_{LB}				3,269E+14	0
				2,33518E+11	4,31687E+19
C_P					0
					5,30673E+19
N					

Tab. 29: Riassunto delle varianze per $\alpha=1$

Al termine di queste analisi è quindi possibile concludere che la probabilità di essere in obsolescenza è uno dei fattori dominanti in quanto, come si può notare dalle matrici 28 e 29, presenta valori delle stime della varianza molto elevati, il che significa che lo scarto quadratico medio della probabilità di essere in obsolescenza tende a sovrastimare il valore della varianza. Inoltre le matrici 26 e 27 mettono in evidenza i valori delle code di probabilità, che ci permettono di capire quale sia il livello di significatività della probabilità di non passare in uno stato di obsolescenza per il sistema. In tutte le quattro iterazioni effettuate il valore dei *p - values* è prossimo o, addirittura, uguale a zero. Ciò vuol che il suo livello di incidenza sia quasi sempre prossimo all'unità (essendo la significatività pari ad $1-p$).

Le stesse considerazioni fatte per la probabilità di essere in obsolescenza possono essere fatte per i fattori relativi alla possibilità o meno di essere in *stock-out* e per il costo di *last type buy*, che presentano valori molto elevati delle stime della varianza e *p-values* prossimi allo zero.

Il costo di *penalty*, invece, è un fattore poco significativo in quanto i valori delle stime della varianza sono nulli. Questo significa che è verificata l'ipotesi di inefficacia del costo e quindi lo s.q.m. relativo a questo fattore risulta essere uno stimatore corretto della varianza. Quanto abbiamo detto è anche evidenziato dai valori delle *p-values* del costo con le quattro iterazioni effettuate, essendo tutte prossime o addirittura pari all'unità.

Il fattore *N*, variando, risulta il fattore più efficace del costo di gestione delle obsolescenze.

Per cui i fattori analizzati, risultano quasi tutti rilevanti, eccezion fatta per il costo di *penalty* che, invece, non contribuisce in maniera significativa alla variabilità del problema e quindi al rischio associato.

Per cui nell'assumere decisioni relative a tale problema dovrà essere posta la massima attenzione nella progettazione e nella gestione delle variabili tecnico gestionali che presentino contributi elevati alla variabilità del problema. Per cui l'analisi di sensitività qui condotta ci permette di affermare che le principali variabili del problema sono:

- la probabilità che il sistema sia in uno stato di obsolescenza;
- il numero di sistemi presenti sul campo in cui il componente è montato.

3.3 Modello di previsione di domanda

Dopo aver determinato quali siano le variabili fondamentali per la strutturazione di un approccio proattivo alla risoluzione del problema, passiamo a costruire un modello di supporto necessario a strutturare in maniera completa il modello di supporto a decisione; tale elemento è il modello di previsione di domanda, che ingloba le variabili tecnico gestionali relative ai parametri manutentivi ed alla numerosità sul campo dei pezzi di ricambio. Tale modello di supporto risulta essere necessario per poter strutturare in maniera efficace il dimensionamento di scorta nei casi delle diverse tattiche proattive e durante le diverse fasi di vita dei componenti. E' importante notare che la formulazione dei dimensionamenti di previsione di domanda sono indipendenti dai modelli matematici che si deciderà di applicare per risolvere il problema di dimensionamento di

scorta. Infatti per qualsivoglia modello matematico di dimensionamento di scorta si farà sempre uso di una stima del tasso di domanda.

Per far ciò è stato deciso di seguire un approccio che prevedesse l'analisi e, quindi, il monitoraggio dei parametri fondamentali per la determinazione del consumo di questi particolari oggetti di magazzino, cioè i dati affidabilistici, questo approccio è seguito sin dal 1996, quando diversi autori iniziarono a far riferimento anche a questi parametri per il dimensionamento di scorta [26, 27].

Per la particolare natura dei ricambi oggetto di questo lavoro, è stato necessario indagare i diversi contributi offerti dalla letteratura scientifica, sinora sviluppata, ma tra questi nessuno ha offerto una risposta piena alle nostre specifiche esigenze. In particolare è stata indagata la letteratura inerente all'argomento dal 1956 ai giorni nostri, tra questi autori, nessuno ha offerto una risposta che prevedesse un modello di previsione di domanda che desse piena risposta alle esigenze di ricambi con alti *lead times* di produzione e con cicli di vita, dei sistemi cui appartengono, molto lunghi.

Tutto ciò premesso è stato creato un modello di previsione di domanda che fa uso di dati relativi alla gestione della manutenzione, come quelli relativi ai tassi di guasto, ed alla gestione della produzione, come i *lead times* di produzione.

Infatti, il nostro modello è basato sulla commistione della variabile tempo di produzione e messa in servizio, che per semplicità chiameremo *lead time*, e i parametri manutentivi.

Per la prima variabile, cioè il *lead time* di produzione, si possono verificare due tipi di eventi, cioè un primo caso nel quale sia nota una serie storica relativa alla produzione di quel tipo di ricambio o sia noto, quando la serie storica non sia presente, quale sia il tipico orizzonte temporale, compreso dei coefficienti di sicurezza necessari, per la messa in servizio di un componente di quel genere. Tali tempi sono necessari per il dimensionamento di scorta e per poter prevedere quali siano le esigenze di ricambio nel periodo di produzione degli stessi. Per cui, il tempo di produzione del ricambio, diviene l'orizzonte temporale nel quale è necessario sopperire ad eventuali esigenze manutentive, in quanto nei periodi antecedenti si potrà comunque ragionare in termini di minimizzazione delle scorte durante tale periodo. L'innovazione è quindi rappresentata dall'introduzione di tale tempo come orizzonte temporale di gestione della scorta all'interno di un altro orizzonte temporale più lungo, legato all'obsolescenza del componente, in particolare tale tempo è quello che minimizza la funzione econometria vista in precedenza. La prima variabile può essere rappresentata come nella (9).

$$L = \begin{cases} L_I = \Theta(L(\tau)) & \text{se è nota la serie storica dei lead} \\ & \text{times} \\ L_{II} = \Omega & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (9)$$

Nella (9) la $\Theta(L(\tau))$ rappresenta la funzione di interpolazione utile a calcolare la previsione per durata del *lead time*, mentre la Ω rappresenta la previsione della durata del *lead time* per mettere in servizio un componente.

L'altra variabile fondamentale per la risoluzione del nostro problema è quella legata ai tassi di guasto. Per il corretto approccio al problema, la

letteratura consolidata in materia prevede un andamento della curva di tasso di guasto come riportato in figura 10 del precedente capitolo.

Per cui partendo dalla ben nota teoria dell'affidabilità, possiamo affermare che il primo ramo è rappresentabile a partire dal rapporto tra la *probability density function* (pdf) e la funzione cumulata di Weibull, mentre per la seconda parte è possibile affermare che è possibile risalire alla formulazione matematica di tale parte di curva attraverso il rapporto tra la pdf e la cumulata di Poisson. Per cui abbiamo come riportato nella (10) e nella (11) le seguenti funzioni.

$$\lambda_I(t) = -\frac{f_1(t)}{R_1(t)} = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (10)$$

$$\lambda_{II}(t) = -\frac{f_2(t)}{R_2(t)} = k \quad (11)$$

Attraverso l'incrocio delle funzioni (8), (9), (10) ed (11) è possibile desumere quattro funzioni di previsione di domanda che potranno essere utilizzate nei diversi casi. Un'utile tabella riepilogativa è riportata di seguito, tab. 30.

L'applicazione di queste funzioni per la previsione del livello di domanda sono state testate ed in particolare è stato riscontrato che rispetto alla dimensione della previsione di domanda tipicamente calcolata all'interno di aziende produttrici, questa si riduce notevolmente, sino a circa l'80% in meno.

Input	Funzione per la previsione di domanda
Guasti infantili, conoscenza serie storica <i>lead times</i>	$D_1 = \lambda_I(t) \cdot L_I = n \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \Theta(L(t))$
Guasti vita utile, conoscenza serie storica <i>lead times</i>	$D_2 = \lambda_{II}(t) \cdot L_I = n \cdot k \cdot \Theta(L(t))$
Guasti vita utile, non conoscenza serie storica dei <i>lead times</i>	$D_3 = \lambda_{II} \cdot L_{II} = n \cdot k \cdot \Omega$
Guasti infantili, non conoscenza serie storica dei <i>lead times</i>	$D_4 = \lambda_I \cdot L_{II} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \cdot n \cdot \Omega$

Tab. 30: funzioni di previsione di domanda

Tale riduzione dei tassi di domanda, ha dirette conseguenze sulle dimensioni dei livelli di scorta e sulle conseguenti immobilizzazioni di capitale aziendali. E' importante notare che tale riduzione di tasso di domanda previsionale è realizzato a parità di livello di servizio, in quanto ciò che cambia è solo il meccanismo di previsione, basato sui dati manutentivi e non solo sulla numerosità sul campo dei componenti.

3.4 Decision Support System per la gestione delle obsolescenze

A partire da tutto quanto sinora detto all'interno del presente capitolo si è costruito un sistema di supporto a decisione che potesse essere d'aiuto quando si debba decidere sulle politiche di gestione relative ai ricambi con problemi di obsolescenza.

In particolare a partire dall'integrazione tra le singole parti sinora viste, che costituiscono il problema, è stato possibile ricavare informazioni di gestione aggiuntive. Tali informazioni di gestione vanno poi integrate con le informazioni disponibili presso il management per poter capire quali siano, davvero, le vie da seguire per poter gestire al meglio le obsolescenze.

Le informazioni aggiuntive, che vanno oltre quanto sinora esposto, riguardano in particolare la possibilità di applicare o no le tattiche risolutive del problema di obsolescenza in ottica proattiva, cioè la *last type buy*, la *reverse engineering* e la *alternative sources*.

Il sistema di supporto a decisione è stato realizzato in MS EXCEL[®], che come già anticipato offre il massimo supporto per quanto riguarda l'interoperabilità tra i diversi soggetti, che a diverso titolo potrebbero essere interessati al sistema.

Il sistema si compone di quattro fogli di lavoro, da dover riempire nel loro ordine di apparizione, che risulta essere:

- 1) calcolo del periodo di obsolescenza;
- 2) calcolo del tasso di domanda;
- 3) calcolo del EOQ;
- 4) identificazione strategia.

Il primo foglio di lavoro, e cioè quello relativo al calcolo del periodo di obsolescenza richiede innanzitutto l'inserimento di alcune delle variabili fondamentali per la valutazione di tale periodo; queste variabili riguardano, principalmente, i parametri necessari a poter calcolare la (8), cioè il valore ottimo del periodo di obsolescenza che minimizza il costo complessivo di gestione dell'obsolescenza. Come è facile intuire per poter calcolare tale valore, risulta essere necessario aver già raccolto dati relativi a diversi aspetti aziendali collegati in diverso modo all'obsolescenza. Tali dati sono tutti quelli necessari a calcolare il valore ottimo di periodo di obsolescenza e sono riportati nelle tabelle esplicative che presentano i diversi elementi

della funzione di costo di obsolescenza (ndr: tab. 3-4 e 5). Tutti questi dati saranno caricati all'interno dell'interfaccia grafica riportata in figura 13.

	A	B	C	D	E	F
1						
2		Input data				
3		N=	150	[pz]		
4		C _p =	1100000	[€*anno]		
5		μ=	19	[pz]		
6		P=	16000	[€]		
7		c _{yc} =	0,02	[1/€*pz]		
8		Pr{x(T)=0}=	0,04	[#]		
9		C _{as} =	26000	[€]		
10		Pr{x(t)=0 T<t}=	0,065	[#]		
11		C _{rd} =	18750	[€/anno]		
12		C _{re} =	15000	[€/anno]		
13		C _{rw} =	2055300	[€/anno]		
14		C _{rt} =	3931200	[€/anno]		
15		T ₁ =	1	[anni]		
16		P _{sig} =	5000000			
17						

Fig. 13: immissione dati per risoluzione della formula (8)

Dopo aver immesso i dati per il calcolo della formula (8), a causa della dipendenza di tale valore di minimo dal valore del periodo di obsolescenza, si genera la necessità di produrre diverse iterazioni per poter giungere ad un valore unico ottimo del periodo di obsolescenza. Si procede, quindi, a partire da un valore di primo tentativo calcolato con le probabilità relative ad un periodo di obsolescenza pari ad 1, a calcolare i periodi di obsolescenza con altri valori ricavati generando altre soluzioni. Le altre soluzioni sono ricavate immettendo delle perturbazioni all'interno del sistema e quindi rilevandone il movimento verso altri valori o meno di obsolescenza. Attraverso, quindi, un determinato numero di iterazioni di questa procedura, si giunge, quindi a determinare, quale sia il periodo di obsolescenza calcolato più frequente e questo sarà la soluzione del nostro primo problema. In figura 14 è, ad esempio, riportato il contatore di frequenza delle soluzioni individuate. La soluzione che presenterà la

maggiore frequenza sarà quindi caricata all'interno della casella dove è presentato il valore ottimo di periodo di obsolescenza.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	I	J	K	L	M	N	O
10							
11							
12							
13		T	frenquency				
14		1	0				
15		2	0				
16		3	1		T*	5	[anni]
17		4	1				
18		5	4				
19		6	0				
20							
21							
22							

The Excel window title is "Microsoft Excel - funzione di costo di obsolescenza_revdef03-06-08.xls". The status bar at the bottom shows "Pronto" and "NUM".

Figura 14: contatore di frequenza delle soluzioni e indicazione del periodo più frequente

La procedura di calcolo euristica utilizzata per il calcolo dei periodi di obsolescenza è riportata nella fig. 14. In particolare, sono presenti due test, un primo che verifica se la prima soluzione individuata sia uguale a quella inizialmente imposta al sistema e se così fosse il sistema procede a perturbarla e a generare un ulteriore soluzione su cui è condotto un ulteriore test simile al precedente, che è il secondo della procedura.

Dopo aver calcolato nella maniera indicata il periodo di obsolescenza si passa alla determinazione dei tassi di domanda calcolati come già anticipato in precedenza o attraverso la conoscenza della serie storica o attraverso le previsioni circa i *lead times* di produzione ed attraverso la conoscenza dei principali parametri manutentivi. Per cui inserendo i dati relativi a tutto ciò nella finestra indicata in figura 15, è possibile calcolare i

valori di domanda nella cosiddetta fase di guasti infantili (I) e nella fase di vita utile (II), che sono invece illustrati nella figura 16.

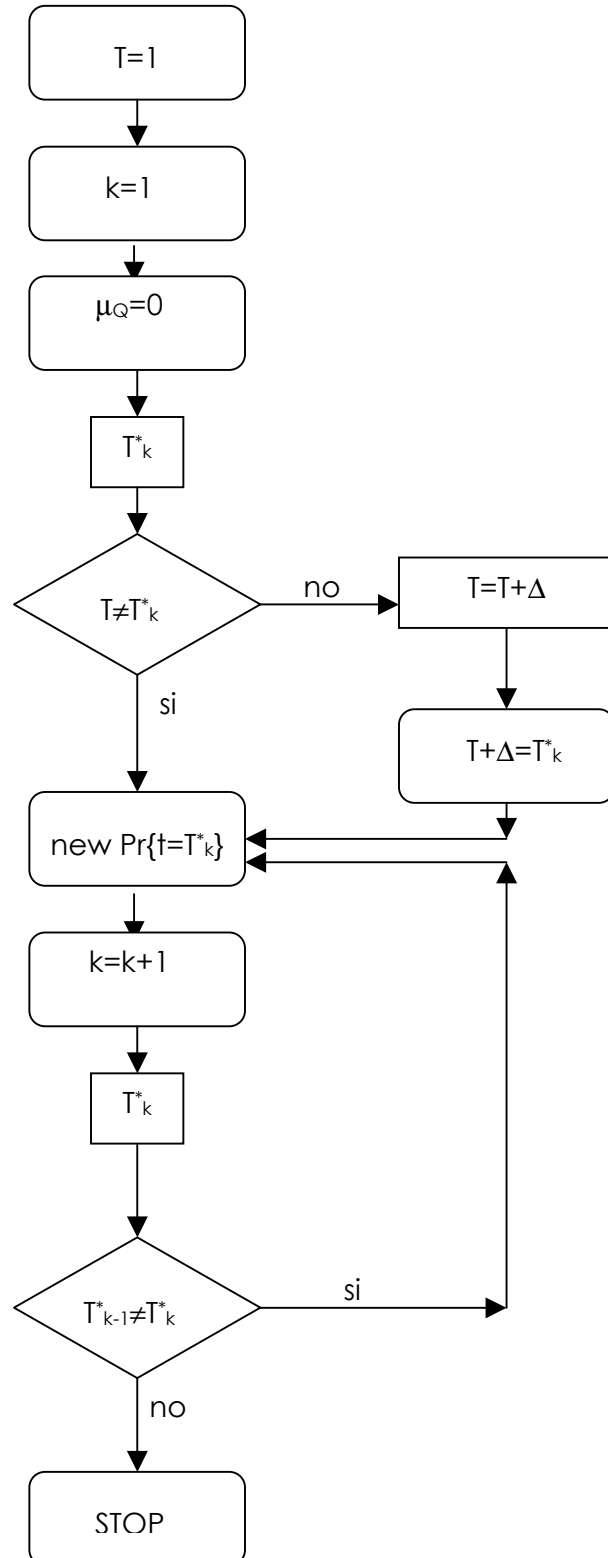


Fig. 14: flow chart dell'algoritmo di risoluzione per il calcolo del periodo di obsolescenza

Come è possibile vedere dalla figura 15 è necessario caricare all'interno del sistema informazioni relative ai parametri caratteristici dell'affidabilità dei componenti oltre ai dati relativi ai *lead times*, ricavati o da serie storica o da esperienza, come già detto in precedenza. Dopo aver caricato tutto ciò attraverso la procedura di calcolo introdotta nei precedenti paragrafi, cioè in quelli relativi al calcolo dei tassi di domanda, che procedevano incrociando le informazioni di mortalità dei componenti e dei tempi per renderli nuovamente disponibili all'interno della scorta, si giunge a calcolare i valori di tasso di domanda nei periodi della vita del componente, che sono, come già detto, illustrati nella figura 16.

Dopo il calcolo dei tassi di domanda attraverso il modello che è stato illustrato nel paragrafo precedente, si passa a determinare quale sia l'*economic order quantity*, relativo al problema in oggetto. In questo lavoro si è utilizzato il modello dell'EOQ di Within, ma nulla vieta di poter applicare altri modelli per il dimensionamento di scorta. Solo per chiarezza è riportata di seguito la formula per il calcolo dell'EOQ, che fa uso, ovviamente del tasso di domanda precedentemente calcolato, in particolare questo sarà utile per il calcolo della domanda aggregata sul periodo di gestione, che nel nostro caso particolare, è posta pari al valore ottimo di periodo di obsolescenza, in quanto nel peggiore dei casi la scorta deve essere gestita durante tale periodo al massimo. La formula per il calcolo è riportata nella (12).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_l \cdot D}{m \cdot P \cdot T}} \quad (12)$$

Dove la variabile C_l rappresenta il costo unitario per ordine, ed è ricavabile da parametri di costo interni alla singola unità produttiva, D è la variabile

che raccoglie la domanda aggregata sul periodo di interesse, m è la costante per calcolare l'incidenza del costo mantenimento per unità di tempo e di valore, P è il valore del componente e T è il periodo di obsolescenza.

Per ogni tipo di strategia presa in considerazione, cioè *last type buy*, *reverse engineering* e *alternative sources*, sono calcolati i valori di scorta da detenere nei diversi periodi della vita del componente, cioè la fase di guasti infantili e la fase di vita utile, che sono per l'appunto presi in considerazione, in termini di tassi di domanda, essendo legati a questi attraverso il modello di calcolo per i tassi di domanda, visto nel paragrafo precedente. Per poter giungere a tale risultato sono quindi caricati all'interno del sistema dati relativi a: tassi di domanda, costi di emissione ordini, costi di acquisizione, costi di mantenimento, livello di domanda aggregata e durata del periodo da soddisfare. A partire dal caricamento di tali dati, applicando il modello di dimensionamento di scorta scelto, si procede a calcolare i livelli di scorta da detenere ed i relativi costi totali e di gestione. Nella figura 17 è riportata l'interfaccia grafica utilizzata per la determinazione di tali livelli di scorta e dei relativi costi. Inoltre, in questo foglio di lavoro è calcolato anche il valore di scorta da inserire all'interno del primo foglio di lavoro relativo al calcolo del periodo di obsolescenza. Tale valore è posto pari al valor medio della scorta durante i periodi di vita utile per le tre diverse tattiche. La sostituzione di tale valore all'interno del primo foglio di lavoro si rende necessario, in quanto, come è anche desumibile dal *flow chart* di calcolo (fig. 14) del periodo di obsolescenza ottimo il valore di primo tentativo imposto al sistema circa la dimensione della scorta è posti pari a zero. Da tale sostituzione ovviamente si genera la possibilità di vedere cambiato il valore del periodo ottimo di obsolescenza, che, quindi, potrebbe generare un ulteriore valore di scorta media da

detenere; attraverso un processo iterativo si giungerà ad un valore stabile di periodo di obsolescenza e di scorta media.

	A	B	C	D	E
1	Input data				
2	Giorno di fine dei guasti infantili	65	[days]		
3	β	0,75	[#]		
4	α	0,4	[years/item]		
5	k	1	[years/item]		
6	$\odot(L(t+1))$	0,7243	[years]		
7	Ω	0	[years]		
8	Year	Lead times series			
9	1	0,7	[years]		
10	2	0,71	[years]		
11	3	0,72	[years]		
12	4	0,73	[years]		
13	5	0,6	[years]		
14	6	0,71	[years]		
15	7	0,65	[years]		
16	8	0,7	[years]		
17	9	0,9	[years]		
18	10	0,85	[years]		
19					
20					

Taskbar tabs: Calcolo periodo di obsolescenza, Calcolo tasso di domanda, Calcolo EOQ, Identificazione strategia, N-T, Cp-T, scorta media-T

Fig. 15: immissione dati per il calcolo dei tassi di domanda

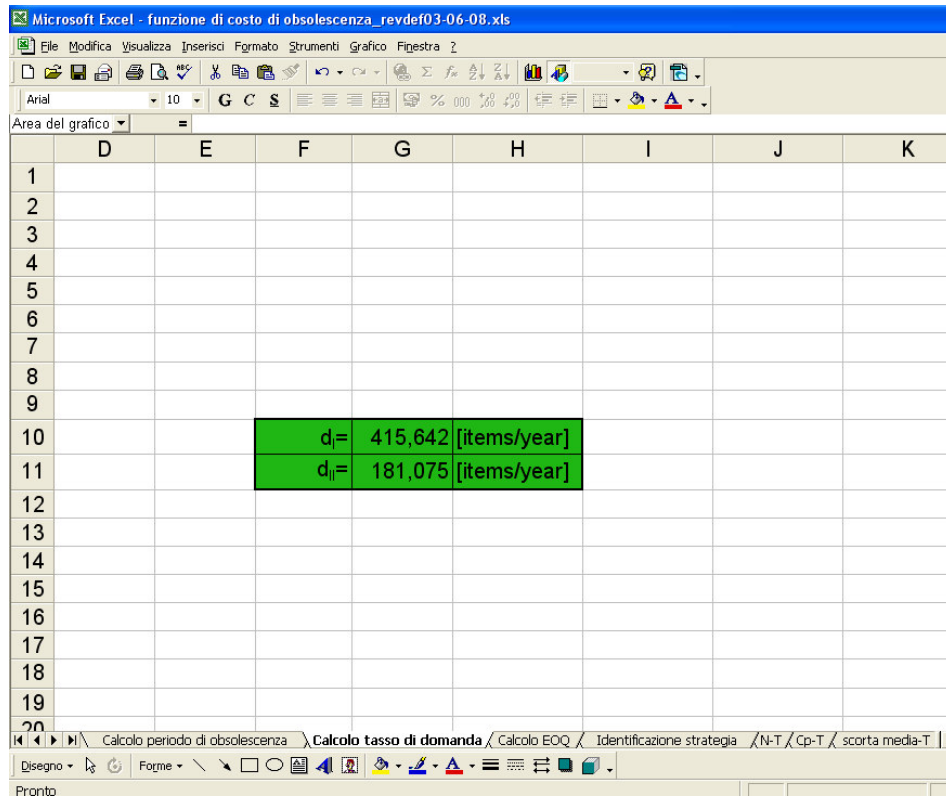


Fig. 16: tassi di domanda nelle fasi di guasti infantili (d_i) e di vita utile (d_{ii})

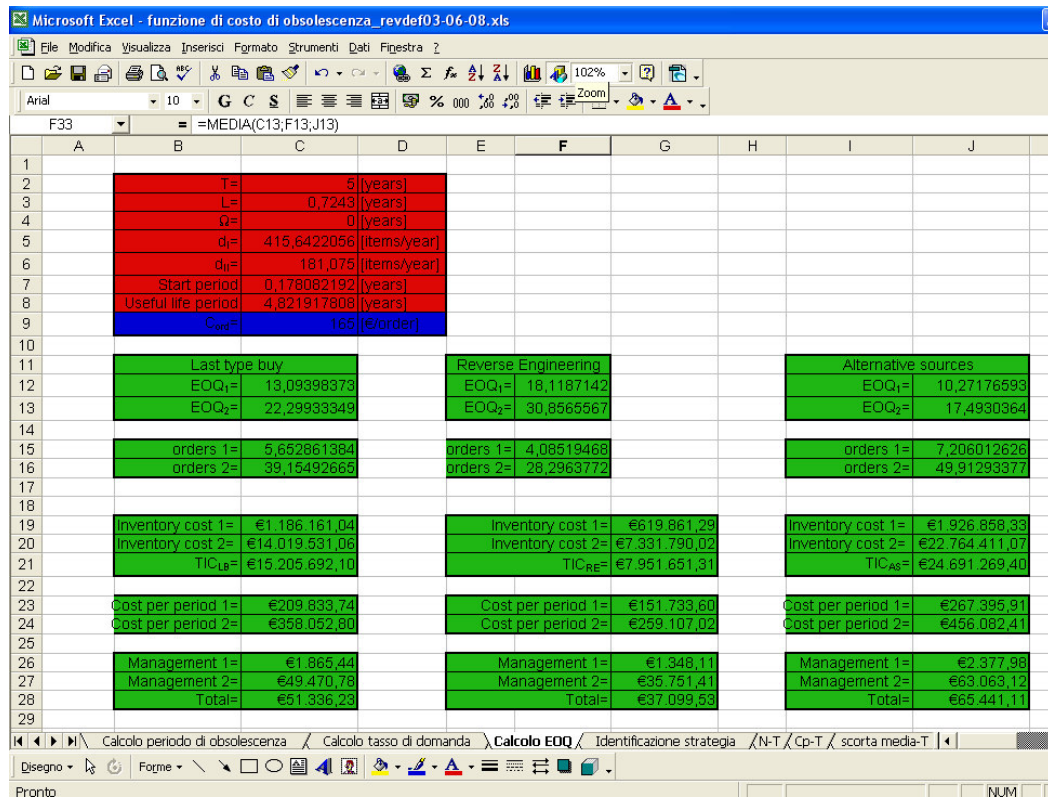


Fig. 17: determinazione dei livelli di scorta per le tre tattiche di soluzione dell'obsolescenza

Ultimo tassello del nostro modello di supporto a decisione è quello che integra le informazioni relative alla possibilità o meno di applicare le tattiche con tutte le altre informazioni precedentemente ricavate.

In particolare l'utente dovrà fornire informazioni relative alla possibilità di applicare o no le diverse tattiche attraverso l'interfaccia mostrata in figura 18. Tali informazioni riguardano la possibilità di applicare o no le diverse tattiche nei diversi periodi di gestione del componente, cioè durante la fase normale della vita del componente, che contiene al proprio interno la fase di guasti infantili e la fase di vita utile, durante la fase di vita di pre-obsolescenza e di obsolescenza conclamata.

Attraverso l'intersezione tra le informazioni relative all'applicabilità delle tattiche di cui sopra, le informazioni relative al costo minimo di risoluzione ed a quelle relative al costo minimo di gestione scorte è quindi possibile ricavare una pianificazione della strategia durante il ciclo di vita del singolo componente nell'orizzonte temporale posto pari a quello di gestione di obsolescenza.

Tale simulazione potrà essere lanciata ad ogni chiusura di periodo di obsolescenza così da aggiornare la situazione circa tutti i parametri a diverso titolo coinvolti nella gestione dell'obsolescenza.

I risultati che è possibile ottenere saranno quindi riportati all'interno di un'interfaccia utente come quella mostrata in figura 19.

Nell'output sono comprese informazioni relative a:

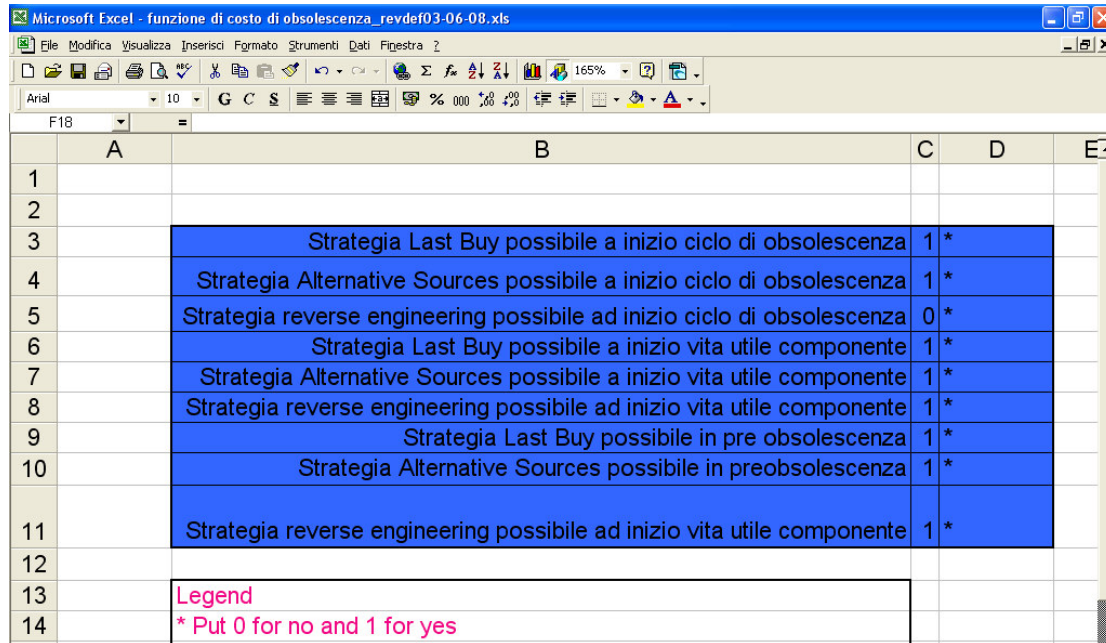
- il costo da dover sostenere nella fase di guasti infantili per la gestione del ricambio con problemi di obsolescenza;

- il costo da dover sostenere nella fase di vita utile del componente per la gestione del ricambio con problemi di obsolescenza;
- il costo di gestione del ricambio durante il periodo di risoluzione dell'obsolescenza;
- il numero di ordini dei ricambi, siano essi esterni o prodotti internamente, da dover effettuare durante il periodo di obsolescenza, T ;
- quale sia l'istante di inizio del periodo di obsolescenza;
- quali siano le tattiche da applicare nei diversi periodi di gestione, cioè:
 - guasti infantili;
 - vita utile del componente;
 - periodo di risoluzione di obsolescenza.

Il modello è stato validato nella sua correttezza formale; infatti, a partire da alcuni valori di variabili sono stati ottenuti dei risultati ed è stato verificato che a partire da tali risultati fosse possibile ritrovare le singole variabili che erano state inserite in *input*.

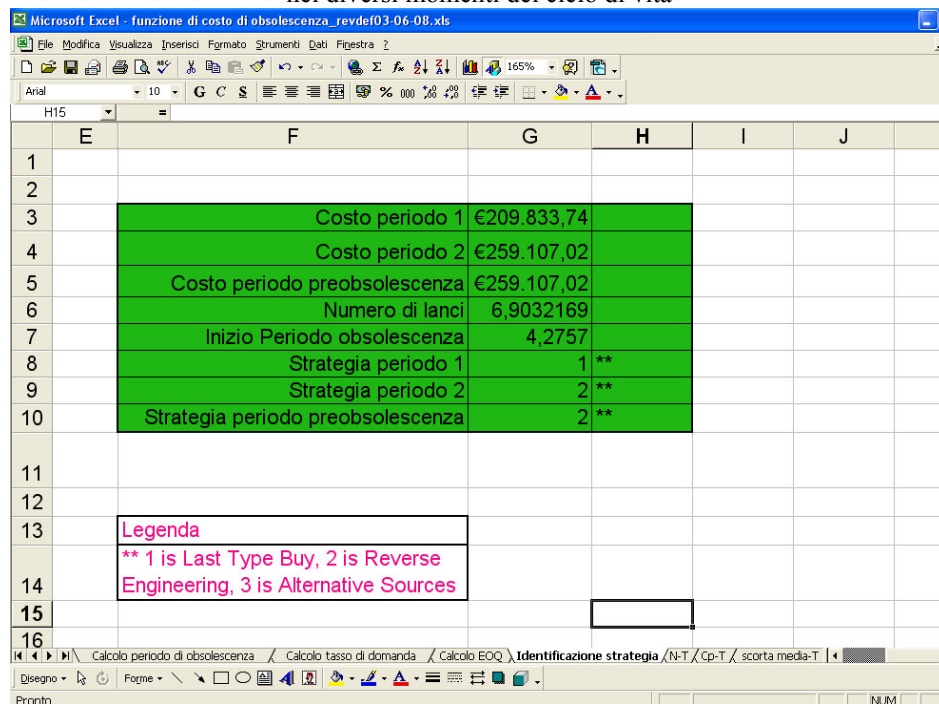
Una piccola nota deve essere fatta in merito al numero di lanci di ordine, come già anticipato, sull'ultima interfaccia utente sono riportati i lanci ordine da fare, sia che essi siano interni sia che essi vadano all'esterno. Ciò dipenderà dal fatto che le informazioni relative all'applicabilità delle tattiche nei diversi periodi della vita del componente impongano l'applicazione di una tattica, che prevede l'autoproduzione o il

mantenimento a scorta interno oppure l'acquisto esterno. Nel primo caso faremo riferimento alla generazione di un ordine interno di produzione, nel secondo, invece ad un ordine di acquisto esterno, che, quindi, sarà gestito dalla funzione di *procurement* aziendale.



	A	B	C	D	E
1					
2					
3		Strategia Last Buy possibile a inizio ciclo di obsolescenza	1 *		
4		Strategia Alternative Sources possibile a inizio ciclo di obsolescenza	1 *		
5		Strategia reverse engineering possibile ad inizio ciclo di obsolescenza	0 *		
6		Strategia Last Buy possibile a inizio vita utile componente	1 *		
7		Strategia Alternative Sources possibile a inizio vita utile componente	1 *		
8		Strategia reverse engineering possibile ad inizio vita utile componente	1 *		
9		Strategia Last Buy possibile in pre obsolescenza	1 *		
10		Strategia Alternative Sources possibile in preobsolescenza	1 *		
11		Strategia reverse engineering possibile ad inizio vita utile componente	1 *		
12					
13		Legend			
14		* Put 0 for no and 1 for yes			

Fig. 18: immissione delle informazioni relative alla possibilità o meno di applicare tattiche di risoluzione nei diversi momenti del ciclo di vita



	E	F	G	H	I	J	K
1							
2							
3		Costo periodo 1	€209.833,74				
4		Costo periodo 2	€259.107,02				
5		Costo periodo preobsolescenza	€259.107,02				
6		Numero di lanci	6,9032169				
7		Inizio Periodo obsolescenza	4,2757				
8		Strategia periodo 1	1 **				
9		Strategia periodo 2	2 **				
10		Strategia periodo preobsolescenza	2 **				
11							
12							
13		Legenda					
14		** 1 is Last Type Buy, 2 is Reverse Engineering, 3 is Alternative Sources					
15							
16							

Fig. 19: output del sistema di supporto a decisione

A partire da questo modello è stato quindi possibile ricavare l'andamento della dimensione del periodo di obsolescenza in funzione delle principali variabili decisionali. Di seguito, quindi, sono riportati tali andamenti.

Nella fig. 19 si nota come al crescere del numero di pezzi si assiste ad una crescita quasi lineare del periodo di obsolescenza. Tale andamento conferma quanto già indagato attraverso le analisi della varianza prima condotte.

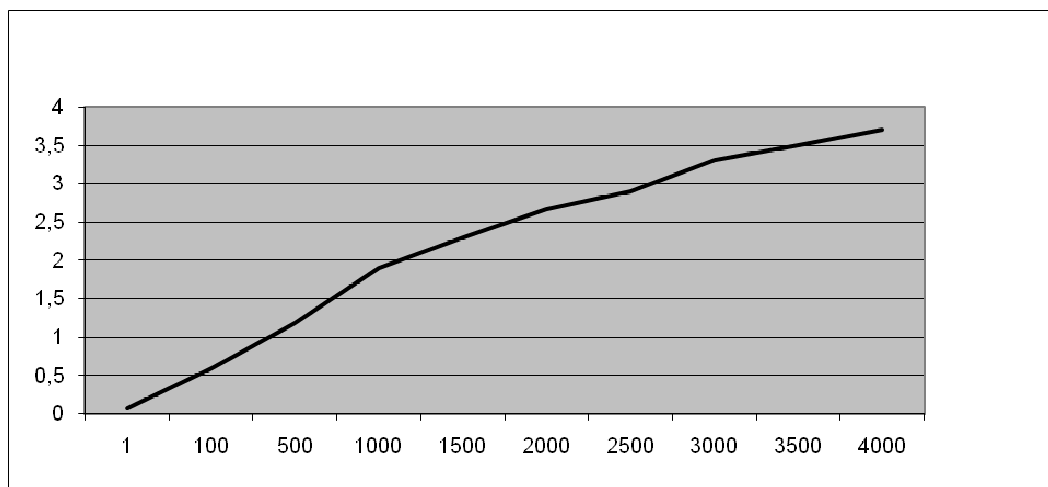


Fig. 19: andamento del periodo di obsolescenza all'aumentare del numero di pezzi N

In fig. 20 si riscontra come vi sia un andamento meno che lineare tra l'andamento del costo di *penalty* e la dimensione del periodo di obsolescenza, il che conferma ancora quanto emerso dall'analisi della varianza. Infatti il parametro relativo a tale variabile risulta non influenzante in maniera significativa la varianza del problema; infatti tutto ciò è confermato da un andamento meno che lineare e soprattutto non lineare, che denuncia la presenza di una varianza significativa rispetto ai valori attesi.

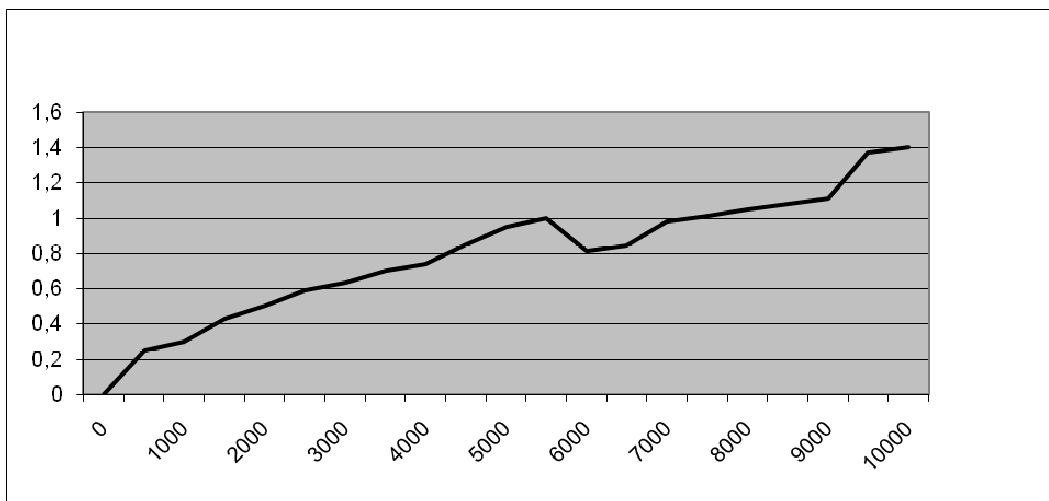


Fig. 20: andamento del periodo di obsolescenza in funzione del costo di penalty

Per quanto riguarda la dimensione della scorta media (fig. 21), possiamo vedere come sia presente un andamento decrescente del periodo di obsolescenza ottimo rispetto al valore di scorta media. L'andamento è circa lineare, infatti ciò conferma che non esista un grande contributo di variabilità al problema generato da tale variabile. Quindi, ancora una volta il risultato posto in evidenza dall'analisi della varianza è confermato.

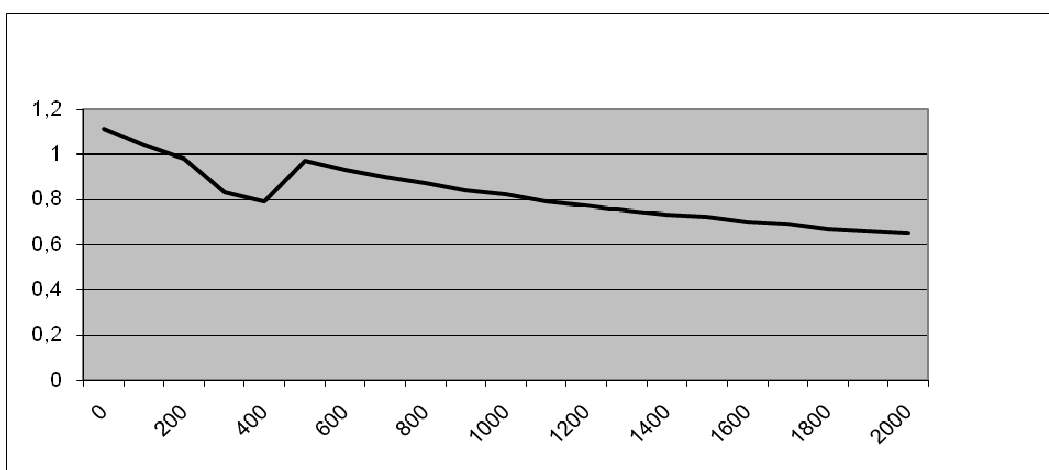


Fig.21: andamento della dimensione del periodo di obsolescenza in funzione del livello di scorta media

Come per l'andamento del periodo di obsolescenza rispetto al costo di *penalty* anche per quanto riguarda l'andamento rispetto al prezzo del

componente si assiste ad un andamento decrescente rispetto a questo, ma si assiste anche ad un andamento quasi lineare del periodo di obsolescenza, il che conferma che tale variabile non contribuisca in modo significativo alla varianza del problema.

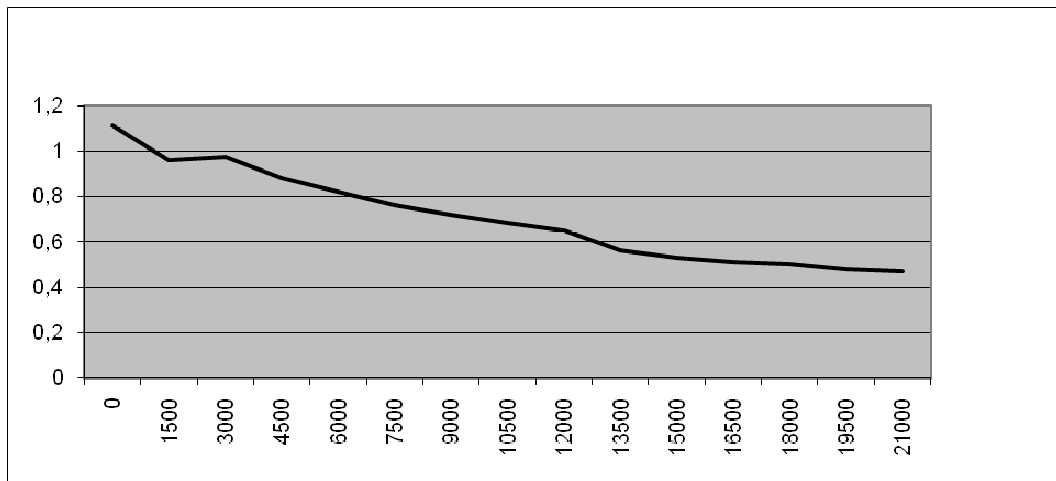


Fig. 22: andamento della dimensione del periodo di obsolescenza in funzione del prezzo

Come è possibile vedere dalla fig. 23 il contributo di varianza della percentuale di probabilità di stock-out non è molto significativo, in quanto impone un delta solo del 0.06 in un ampio *range* di variabilità. Ciò aggiunge un'informazione in più all'analisi del nostro problema siccome tale variabile non era stata indagata direttamente nella fase di valutazione delle varianze. Si assiste inoltre ad un andamento decrescente del periodo di obsolescenza rispetto a tale variabile con un andamento circa lineare, il che denuncia quindi un uno scaro valore di varianza rispetto ai valori attesi.

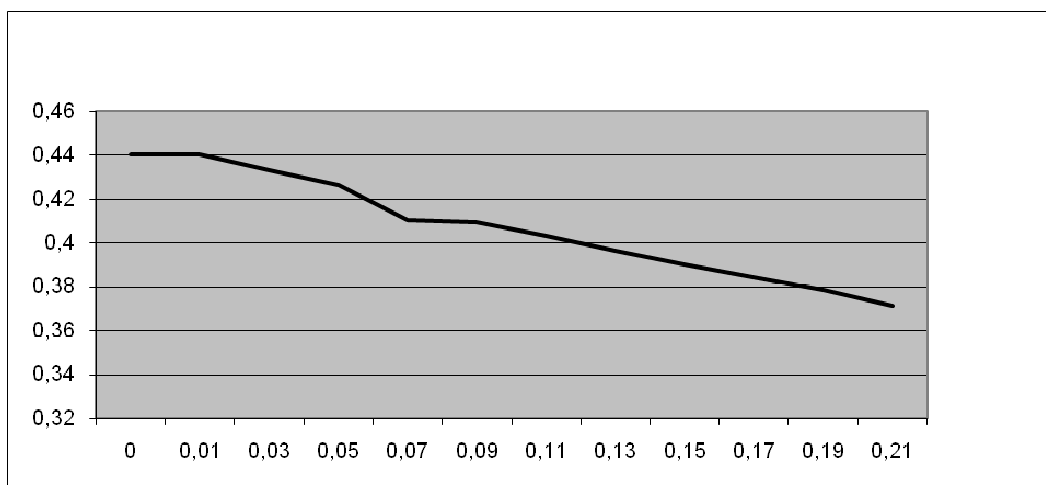


Fig. 23: andamento del periodo di obsolescenza in funzione della probabilità di stock-out

In fig. 24 è riportato l'andamento del periodo di obsolescenza rispetto alla costante del costo di mantenimento, si nota un andamento decrescente circa lineare, il che conferma una scarsa varianza rispetto al valore atteso. Inoltre, dal momento che anche questa variabile non era stata indagata in precedenza, si può evidenziare come sia presente un medio contributo di tale variabile alla varianza complessiva del problema, avendo un valore di salto della funzione pari a circa un anno rispetto ad una larga scala di variabilità di tale valore.

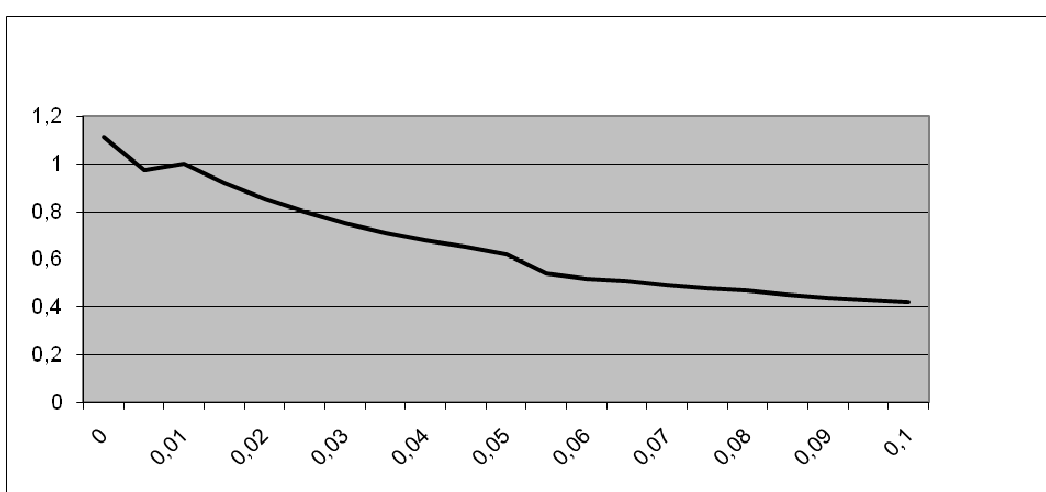


Fig. 24: andamento del periodo di obsolescenza in funzione della costante di costo di mantenimento

Un'ulteriore variabile indagata è quella della probabilità di *stock-out* in una fase di post obsolescenza. Si nota un andamento crescente meno che lineare, ma con scarse deviazioni rispetto al valore atteso. Ciò evidenzia come non vi sia un grande contributo di variabilità al problema, infatti si ha un delta di soli 6 mesi imponendo una larga variabilità alla variabile di probabilità di *stock-out* in fase post obsolescenza.

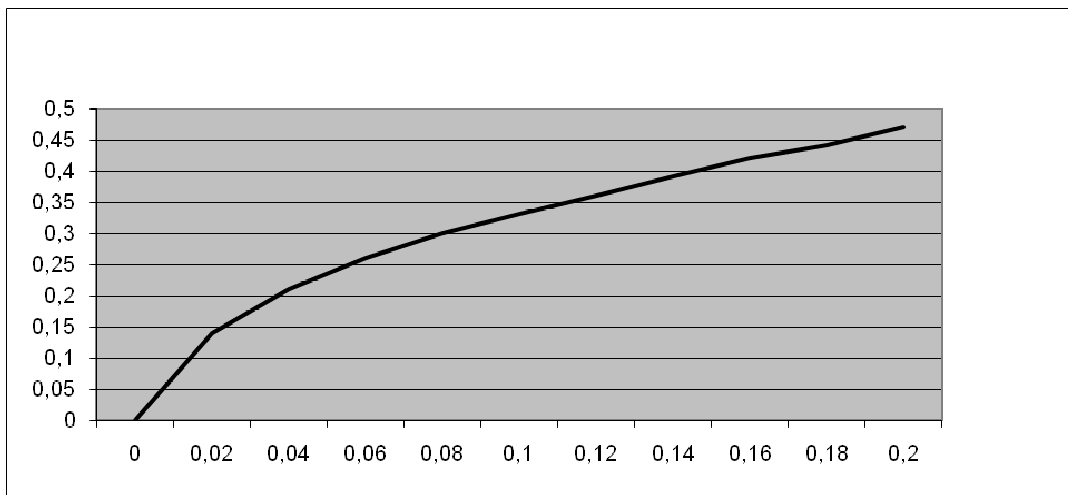


Fig. 25: andamento del periodo di obsolescenza in funzione probabilità di stock-out dopo obsolescenza

In fig. 26 si denota un andamento decrescente del periodo di obsolescenza al crescere del costo di *reverse engineering*. Anche se è da dire che tale andamento dal punto di vista pratico è circa costante, infatti il salto dato da un ampio *range* di variabilità di tale costo è di appena il 2% di un anno. Per cui in questa prima fase di strutturazione del modello risulta adeguata l'ipotesi relativa all'andamento del costo di *reverse engineering* crescente all'aumentare del periodo di obsolescenza.

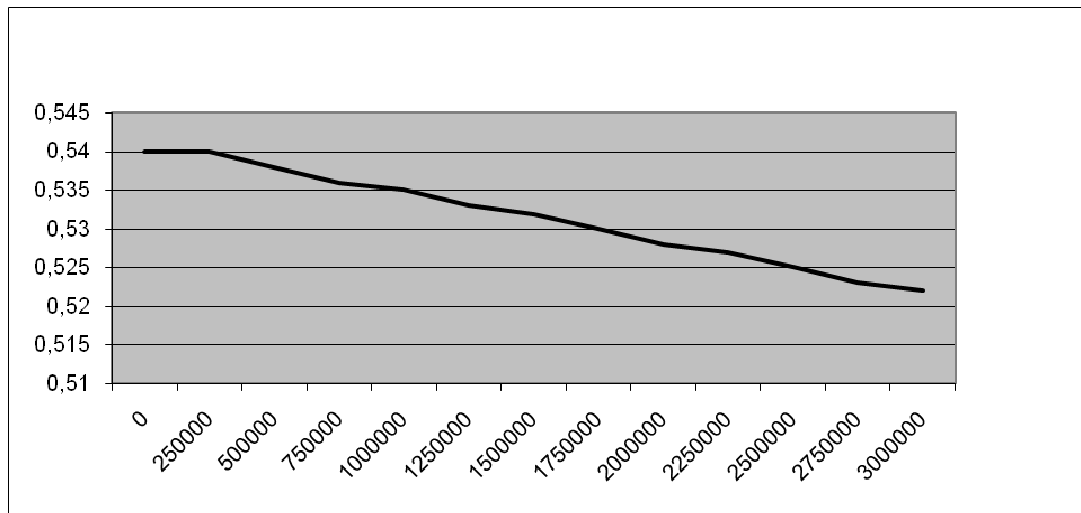


Fig. 26: andamento del periodo di obsolescenza in funzione del costo di reverse engineering

Per cui in conclusione possiamo dire che la durata del periodo di obsolescenza ottimo cresce con il crescere del numero di pezzi sul campo (N), con il costo di *penalty* (C_p) e con la probabilità di *stock-out*. Invece, decresce con l'aumentare di tutte le altre variabili.

Risulta interessante notare come a meno di piccole deviazioni, tutti gli andamenti di tutte le variabili risultino essere all'incirca lineari, consegnandoci quindi un modello che risulta essere piuttosto stabile e poco avvezzo a non riconoscere errori di valutazione, che si presentino con valori di molto differenti da un comportamento atteso.

Capitolo 4 – Validazione ed utilizzo del DSS

4.1 Costruzione dell'esperimento

Il modello di supporto a decisione costruito presenta di per sé dei vantaggi, che sono costituiti, fondamentalmente, dalla novità offerta dall'approccio econometrico, quindi basato su un modello *cost-effective*, per la gestione delle obsolescenze. Nonostante ciò si è proceduto, nell'applicazione piena del metodo scientifico, a produrre un esperimento che validasse l'idea ed il modello stesso rispetto all'approccio tradizionale di gestione dell'obsolescenza.

L'esperimento è basato sulla costruzione di un caso tipo, le cui variabili descriventi sono uguali per entrambi gli approcci. A tali condizioni di base, è stato, quindi, applicato un modello di generazione casuale degli eventi, che riesce quindi a simulare eventi quali la possibilità o meno di applicare una tattica piuttosto che un'altra.

Le tattiche simulate per l'approccio tradizionale sono:

- *last type buy* per 35 anni, cioè l'intera vita utile del sistema,
- emulazione.

Le tattiche simulate per il modello sono:

- *last type buy* per il periodo di obsolescenza,
- *reverse engineering*,
- *alternative sources*.

Queste diverse tattiche, come desumibile dai precedenti capitoli, possono essere applicate solo se alcune condizioni al contorno sono verificate. Per cui, ad esempio, la tattica di *last type buy*, sia su un periodo di 35 anni sia durante il periodo di obsolescenza, è attuabile solo se esiste l'OEM produttore, oppure, ancora, la tattica di *reverse engineering*, come anche in parte quella di emulazione, è attuabile solo se le risorse di ingegneria non sono sature. Per poter testare la bontà del modello, è stato, quindi, creato un piano di eventi casuali, che prevedono la possibilità che un evento di applicazione di tattica si verifichi o no. Si potrà quindi verificare che la tattica di *reverse engineering* sia applicabile e la tattica di *alternative sources* no, e così via.

Per quanto riguarda la tattica aziendale, il criterio di scelta tra le sue alternative, là dove sia possibile effettuare una scelta in quanto il generatore casuale ha restituito la possibilità di applicare entrambe le tattiche a sua disposizione, è quello del costo minimo. Per quanto riguarda il modello qui proposto, per la decisione sulla tattica o sul *mix* di tattiche da attuare, si fa riferimento al *decision support system* (DSS) costruito. Il criterio di scelta finale dell'esperimento è basato sull'individuazione del minimo costo totale tra le tattiche aziendali e quelle del modello. In questo modo si vuole verificare il numero di volte in cui il modello qui proposto sia migliore o viceversa, come *performance* di costo, rispetto al minimo dei costi delle azioni proposte dal modello aziendale.

I dati, relativi al generico *item* analizzato, sono uguali per entrambi i modelli. Di seguito sono riportati tali valori (tab. 31). La variazione di tali valori non lede la generalità della dimostrazione. Infatti, diversi parametri in ingresso, genererebbero solo diversi valori di *output*, ma non

genererebbe significative differenze nella definizione della migliore via per la gestione.

Probabilità di stock-out	4%
Probabilità di stock-out dopo obsolescenza	6,50%
costo ora di progettazione	18,75 €
costo ora di ingegnerizzazione	18,75 €
costo ora lavorazione	132 €
costo ora di test	63 €
Beta	0,75
Alfa	1,5
Lambda	1
interpolazione lead time	0,7243
costo ordinazione	250 €
Numero pezzi	150
costo di mantenimento	2%
Prezzo del componente	15000 €
Prezzo del sistema	5000000 €
ore di progettazione necessarie	600
ore di ingegnerizzazione necessarie	2000
ore di produzione per pezzo	26
ore di test per pezzo	40

Tab. 31: dati input ai modelli decisionali

Gli elementi caricati nel modello simulativo sono tutti i dati necessari a far girare il modello proposto, e a calcolare i costi di applicazione nel caso del modello aziendale.

Per tali valori di *input*, il DSS estrapola un valore di periodicità dell'obsolescenza pari a 3 anni, tale valore minimizza i costi di gestione associati.

Il DSS, a seconda del tipo di tattica che il simulatore di eventi dichiara essere applicabili, genererà i costi previsionali riportati in tabella 32.

Last type buy-Reverse Engineering-Alternative sources	€	54.578.146,93
Alternative sources-Reverse engineering	€	54.578.146,93
Reverse Engineering-Last type buy	€	58.628.708,60
Last type buy-alternative sources	€	56.709.415,00
reverse engineering	€	54.578.146,93
alternative sources	€	98.224.396,67
last type buy	€	56.709.415,00

Tab. 32: valori di costo per il DSS a seconda delle possibili alternative di tattica

Il modello strategico tradizionale utilizzato in azienda, che sceglie tra le tattiche su richiamate, invece, genera i costi riportati in tabella 33.

emulazione	€	244.388.877,50
last type buy	€	553.266.000,00

Tab. 33: valori di costo per il DSS a seconda delle possibili alternative di tattica

Il numero campionario di ripetizioni scelto è stato calcolato, ipotizzando una distribuzione T-Student degli esperimenti, ed assegnando un valore di predominanza atteso (cioè il numero atteso di campioni nei quali si verificherà l'ipotesi che la tattica del modello sia migliore di quella aziendale) pari al 90% ed un errore atteso del 2.5%. La numerosità campionaria così calcolata è risultata essere pari a 956, con un livello di confidenza prescelto pari al 99%.

Per ogni singola simulazione, vengono generati casualmente gli eventi relativi alla possibilità di applicare o no una data tattica, tra quelle aziendali e quelle del modello. Per cui generando 956 ripetizioni di tali possibilità si verifica in 956 casi quale sia la soluzione migliore, cioè quella offerta dal modello o quella offerta dalle tecniche aziendali.

Dopo di che il modello simulativo, costituito da una popolazione di 956 eventi casuali è lanciato per 100 volte per poterci garantire con un errore del 5.85% ed una confidenza del 95% che nel 90% dei casi i risultati del modello siano migliori di quelli delle tattiche aziendali.

4.2 I risultati dell'esperimento

Detto tutto ciò sono stati realizzati con l'aiuto del software MS EXCEL® gli esperimenti ed i fogli di calcolo necessari.

Per quanto riguarda la prima serie di generazioni di eventi casuali, si riporta a titolo esemplificativo le generazioni relative all'applicabilità delle tattiche aziendali (tab.34) e delle tattiche del modello (tab.35).

<i>Tattiche Azienda</i>					
	Obsolescenza	Casuale	Last Type buy	Casuale	Emulazione
1	si	0,918101	si	0,667065571	si
2	si	0,902841	si	0,254274378	no
3	si	0,841083	si	0,120849475	no
4	si	0,12408	no	0,468871764	no
5	si	0,213662	no	0,343412565	no

Tab.34: generazioni casuali relative all'applicabilità delle tattiche aziendali

<i>Tattiche Modello</i>						
	Obsolescenza	Casuale	Last type buy	Casuale	Rev. engineering	Altern. sources
1	si	0,759544	no	0,769636535	no	0,163899875
2	si	0,308978	si	0,334704635	si	0,166625207
3	si	0,300592	si	0,647157127	no	0,535274097
4	si	0,483959	si	0,031875282	si	0,366855356
5	si	0,439844	si	0,116009403	si	0,022951495

Tab.35: generazioni casuali relative all'applicabilità delle tattiche del modello

Dopo aver creato gli eventi di applicazione delle tattiche sono stati creati i fogli di calcolo relativi all'individuazione del costo dell'applicazione della tattica prescelta secondo i criteri introdotti nel precedente paragrafo, sia per il modello che per l'"azienda". Si ricorda che i valori di costo riportati sono relativi al costo totale di gestione su tutto l'orizzonte temporale del *life cycle*, cioè 35 anni. In tabella 36 sono riportati i costi relativi all'applicazione di alcune tattiche in un numero limitato di esperimenti (ndr: totale esperimenti pari a 956 per 100 ripetizioni).

Esperimento	Costo azienda		Costo modello	
1	€	10.000.000.000.000.000,00	€	124.578.146,93
2	€	553.266.000,00	€	126.709.415,00
3	€	244.388.887,50	€	124.578.146,93
4	€	244.388.887,50	€	124.578.146,93
5	€	244.388.887,50	€	124.578.146,93

Tab. 36: individuazione dei costi di gestione su 35 anni

Si nota come sulla prima riga per il costo relativo al modello aziendale, sia riportata una cifra “astronomica”, tale valore è immesso allorquando nessuna delle tattiche applicabili è disponibile, quindi il costo di *penalty* tende all’infinito. Ciò può accadere sia per le tattiche aziendali sia per quelle del modello. E’ sottinteso che la probabilità che si verifichi la non applicabilità di nessuna delle tattiche sia più frequente per le tattiche aziendali che non per le tattiche del modello, per il semplice motivo che le tattiche a disposizione del modello aziendale sono due mentre le tattiche a disposizione del modello sono tre.

Dopo aver calcolato le 956 ripetizioni campionarie dell’esperimento, sono contate le volte in cui il modello è migliore dell’azienda e quindi è calcolata la frequenza di ripetizione della prevalenza del modello rispetto all’azienda.

Tali valori sono ricavati per 100 ripetizioni, questi sono quindi, riportati in tabella 37.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
87,4%	86,1%	87,9%	88,9%	86,4%	88,3%	88,1%	87,2%	87,1%	88,8%	86,3%	88,4%	86,9%	87,7%	87,1%	86,4%	86,3%	86,7%	87,7%	88,2%
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
87,0%	87,1%	89,8%	87,6%	88,1%	87,4%	88,5%	87,6%	86,7%	86,8%	88,6%	86,1%	87,4%	89,1%	88,1%	86,9%	86,5%	86,5%	88,6%	87,7%
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
88,5%	87,2%	88,3%	86,6%	87,1%	87,2%	87,2%	88,2%	89,0%	87,5%	87,6%	85,3%	87,9%	89,0%	86,9%	87,4%	87,2%	86,6%	88,7%	87,3%
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
88,9%	89,2%	87,6%	86,3%	89,3%	87,0%	89,8%	86,6%	88,7%	87,4%	87,3%	87,7%	87,2%	89,0%	87,7%	87,4%	87,7%	87,9%	89,2%	86,6%
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
89,1%	88,2%	88,6%	86,4%	89,9%	88,5%	89,3%	88,0%	88,0%	86,7%	88,5%	86,6%	86,2%	87,0%	86,1%	87,2%	86,9%	88,5%	87,2%	86,7%

Tab. 37: risultati dei 100 run della simulazione

Da tali ripetizioni si desume una media di prevalenza delle soluzioni del modello rispetto a quelle della tattica aziendale pari all'87,62% con una deviazione standard di tale popolazione, davvero molto bassa, cioè inferiore all'1%, in particolare pari al 0,98%.

La numerosità delle ripetizioni della simulazione ci garantisce rispetto al valor medio dei risultati una confidenza del 95%, con un errore del 5,85%.

Per cui il modello costruito risulta essere migliorativo rispetto ai modelli decisionali attualmente utilizzati all'interno delle aziende operanti in questo settore.

Il motivo di tale prevalenza è basata sul fatto che il rischio connesso alla gestione e conseguentemente al costo risulta essere diviso su orizzonti temporali di gestione più bassi rispetto ai 35 anni. Ciò, quindi, genera una diminuzione del costo di penalty connesso alla gestione dei materiali con possibilità di obsolescenza. Naturalmente il modello qui costruito presenta alcune criticità di applicazione, relative ad esempio alla necessità di avere una distribuzione di probabilità dell'obsolescenza nei diversi anni, oppure di essere a conoscenza di uno storico relativo alle durate dei *lead times* di progettazione, ingegnerizzazione, costruzione e test.

Per cui, il modello così costruito risulta essere un valido supporto per la gestione dell'obsolescenza, anche se presenta ancora delle criticità di gestione. E' da notare, però, che, là dove, i dati su richiamati fossero analizzati e ricercati, il rischio connesso alla finanza di progetto relativa alla gestione dei materiali di ricambio con problemi di obsolescenza risulterebbe notevolmente mitigato.

Ulteriori passi di ricerca riguarderanno l'affinamento teorico ed operativo del modello. Gli affinamenti pratici riguarderanno, in particolare, la possibilità di poterlo calare ancor meglio in quelle che sono le diverse realtà industriali, che potrebbero essere interessate all'argomento. Non è da tralasciare un possibile interesse anche da parte del mondo della sanità, che potrebbe utilizzare il modello per la gestione *cost-effective* delle obsolescenze relative alle apparecchiature elettromedicali.

Conclusioni

Nel presente lavoro sono state affrontati argomenti relativi alla logistica dei ricambi con problemi di obsolescenza, con alti *lead time* di produzione ed appartenenti a sistemi complessi con lunghi cicli di vita.

In particolare è stato affrontato il problema relativo alla gestione dei ricambi di sistemi complessi particolari, cioè sistemi di difesa militare e civile. In quest'ambito quindi è stato possibile sviluppare un modello di supporto a decisione, che partendo da informazioni relative a parametri gestionali della scorta e relative all'obsolescenza dei pezzi stessi, giunge a determinare quale sia il periodo ottimo di gestione dell'obsolescenza per minimizzare i costi di gestione, determinando, noti i tempi di produzione, quali siano le dimensioni di scorta da dover detenere per poter gestire efficacemente il problema logistico. Inoltre è da notare che il modello di supporto a decisione, attraverso la conoscenza di informazioni relative all'applicabilità o meno di alcune delle possibili soluzioni riesce a determinare la sequenza di azioni da intraprendere nel periodo di obsolescenza. In particolare il modello è in grado di determinare le politiche di gestione dell'obsolescenza durante la prima parte del ciclo di vita del componente, la cosiddetta fase dei guasti infantili, durante la fase della vita utile e durante il periodo di risoluzione dell'obsolescenza, per tale periodo è calcolato anche l'istante di inizio del periodo di gestione della risoluzione. A termine di tutto ciò sono quindi mostrati i costi di gestione relativi all'applicazione di tali tattiche gestionali e risolutive per quanto riguarda l'obsolescenza.

La validità del modello è stata testata e validata attraverso la costruzione di un esperimento, la cui significatività statistica va oltre il 90%.

Al termine di questo lavoro è stato quindi costruito un modello che possa essere in grado di supportare gli specialisti di settore nella gestione di questa tanto inesplorata quanto complessa materia.

Bibliografia

- [1] Dallari, Marchet – Rinnovare la Supply Chain – Ed. il Sole 24 Ore
- [2] Danese, Romano – Supply Chain Management, la gestione dei processi di fornitura e distribuzione – Ed. McGraw-Hill
- [3] Le Chevalier, Vernay – Future radar concepts and technologies – Military Technologies, July 2006
- [4] Keating, Huff – Managing in the new – Engineering Management, February 2004
- [5] Engler – Parts obsolescence management decision support system – DMSMS Conference 1999 – www.dmsms.org
- [6] Schneideman – Managing product obsolescence, now you see it, now you don't – Electronic Design, Vol. 52, n.12, 7/6/2004
- [7] Office of the Assistant Secretary of the Navy, Logistic – DMSMS Management Plan Guidance – April 2005 – www.dmsms.org
- [8] DMSMS Guide Book, Version 1.1 – 31/12/2005 – www.dmsms.org
- [9] Federal Aviation Administration – COTS Risk Mitigation Guide: Practical methods for effective COTS Acquisition and life cycle support – www.faa.gov/aua/resources/cots - 2002
- [10] Arcelus et al. – The instant obsolescence problem with price dependent demand – INFOR, Vol. 44, n. 4, December 2006

- [11] Singh, Sandborn – Obsolescence driven design refresh planning for sustainment-dominated systems – The Engineering Economist, Vol. 51, pag. 115-139, 2006
- [12] Aley – The V-22 Program, Paving the way for Navy Obsolescence Management and mitigation – Defense and AT&L, March-April 2006
- [13] Smith – Economic Equipment Policies: An Evaluation – Institute for Operations research of Illinois – 1957
- [14] Chambers, Bond, Leak – Lot sizes in aircraft production – Institute for Operations Research of Illinois – 1958
- [15] Olmer – A new approach to the determination of replacement costs – Institute for Operations Research of Illinois – 1959
- [16] Brown, Lu, Wolfson – Dynamic Modeling of inventories subject to obsolescence – Management Science – Vol.11, n. 1, 1964
- [17] Zaichencko – Risk and independence in innovative activity – La Pravda – 1999
- [18] Laronge – Solving the functional obsolescence question part I – The Appraisal Journal – 1999
- [19] Laronge – Solving the functional obsolescence question part II – The Appraisal Journal – 2000
- [20] Teunter, Fortuin – End of life service – International Journal of Production Economics – n.59 487-497, 1999
- [21] Nelson – Testing obsolescence in fixed assets – The accounting review – pag. 447-464 – 2002

- [22] Bhurusith, Touran, Asce, Case study of obsolescence and equipment productivity – Journal of Construction Engineering and Management – Vol. 128, n. 4, pag. 357-362, 2002
- [23] Arcelus, Pakkala, Srinivasan - A myopic policy for the gradual obsolescence problem with price-dependent demand – Computers & Operations Research – n.29 pag. 1115 – 1127, 2002
- [24] Persona, Grassi, Catena – Consignment stock of inventories in the presence of obsolescence - International Journal of Production Research – Vol. 43, n. 23, 4969–4988, 1 December 2005
- [25] Ho, Solis, Chang – An evaluation of lot-sizing heuristics for deteriorating inventory in material requirement planning systems – Computers & Operations Research – n. 34, pag. 2562-2575, 2007
- [26] Aka et al., Joint inventory/replacement policies for parallel machines, IIE Transactions, n. 29, 1997
- [27] Haneveld et al., Optimal provisioning strategies for slow moving spare parts with small lead times, The Journal of the Operational Research Society, Vol. 48, N. 2, Feb. 1997